

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Auto- ja kuljetustekniikka

Tuotetekniikka

INSINÖÖRITYÖ

CITYCABIN ITSEKANTAVAN HIILIKUITUKORIN VALMISTUS

**Työn tekijä: Vesa Tiainen
Työn valvoja ja ohjaaja:
Harri Santamala**

Työ hyväksytty: __. __. 2008

**Harri Santamala
Insinööri**

ALKULAUSE

Tämä insinöörityö on tehty opinnäytetyönä Helsingin ammattikorkeakoulun Stadian autotekniikan koulutusohjelmassa. Työni valvojana toimi insinööri Harri Santamala.

Työn toimeksiantajana oli Stadian CityCab-autoprojekti. Insinöörityön tavoitteena on kertoa tulevien projektien tekijöille CityCabin itsekantavan hiilikuitukorin valmistusvaiheista ja valmistuksessa havaituista virheistä sekä esittää parannusmahdollisuuksia korin valmistamiseen.

Haluan kiittää työn valvojaa insinööri Harri Santamalaa ja yliopettaja Matti Parpolaa projektin mahdollistamisesta. Kiitän myös diplomi-insinööri Jorma Lemmetyistä ja teknikko Seppo Laukkasta komposiittien valmistustekniikoitten opettamisesta sekä kaikkia projektissa mukana olleita opiskelijoita ja sponsoreita.

Helsingissä 23.4.2008

Vesa Tiainen

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Vesa Tiainen	
Työn nimi: CityCabin itsekantavan hiilikuitukorin valmistus	
Päivämäärä: 23.04.2008	Sivumäärä: 50 s. + 6 liitettä
Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Tuotetekniikka
Työn valvoja ja ohjaaja: Insinööri Harri Santamala	
<p>Tässä insinöörityössä käydään läpi Stadiassa syksyllä 2006 valmistuneen konsepti -auto CityCabin itsekantavan hiilikuitukorin suunnittelu- ja valmistusprosessi. CityCabin itsekantava hiilikuitukori koostuu viidestä osasta. Eri osat on valmistettu <i>Sprint</i> CBS -hiilikuidusta ja niiden liitoksissa on käytetty liima- ja pulttiliitoksia sekä laminointia.</p> <p>CityCabin itsekantava hiilikuitukori on suunniteltu käyttämällä Catia-mallinnusohjelmistoa ja Algor-lujuuslaskentaohjelmistoa. Itsekantava hiilikuitukori on suunniteltu kolariturvalliseksi nykystandardien mukaan.</p> <p>Työn tavoitteena oli hiilikuitukorin valmistuksen valmistuskustannuksien pienentäminen, käsinlaminoinnin vähentäminen, uuteen valmistusmenetelmään tutustuminen, valmistettavien kappaleiden tasainen laatu sekä aikataulussa pysyminen.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä painopiste on enemmän hiilikuituosien valmistuksessa ja korin kasaamisessa. Eri työvaiheet on käyty hyvin tarkasti läpi.</p> <p>Työn tuloksena syntyi CityCabin itsekantava hiilikuitukori, joka on valmistettu komposiittialan uusimpia valmistusmenetelmiä hyödyntäen. Hiilikuitukori pysyi annetuissa toleransseissa ja se täytti sille asetetut vaatimukset. <i>Sprint</i>-hiilikuidun valmistus -tekniikoista saatiin paljon uutta hyödyllistä tietoa, mutta on tehtävä vielä paljon kokeita ennen kuin tästä uudesta materiaalista saadaan kaikki hyöty irti.</p>	
Avainsanat: CityCab, hiilikuitu, CBS, <i>Sprint</i> , <i>Prepreg</i>	

ABSTRACT

Name: Vesa Tiainen	
Title: Self - supporting carbon fibre upper body of CityCab	
Date: 23.04.2008	Number of pages: 50
Degree Programme: Automotive and Transport engineering	Specialisation: Automotive design engineering
Instructor and Supervisor: Engineer Harri Santamala	
<p>The CityCab is Stadia`s research and development project where students desing, engineer and manufacture a fully functional next generation taxi. CityCab represents the latest innovations in the automotive industry. Highlights of the CityCab are: Toyota hybrid power train, seats for five passengers, turning rear wheels, air suspension and self-supporting carbon fibre body.</p> <p><i>Sprint</i> CBS ST 86 is very suitable for prototype manufacturing. It is very easy to apply to the mould and there is no need for an expensive autoclave to manufacture it. Only manufacturing requirements are oven, vacuum and a little bit manufacturing knowledge of composites. Surface quality of ST 86 is very good and even. <i>Sprint</i> is easy to join together and material losses are very low. Only fault of the <i>Sprint</i> is the price, but when comparing ready products to the manufacturing costs the <i>Sprint</i> CBS ST 86 is obvious choice.</p> <p>The findings of this final thesis were so conclusive that a decision was made to use the same methods in our schools future automotive projects. I am sure that the ST 86 will be a success in automotive industry and after using ST 86 in this project I would recommend the product to anyone.</p>	
Key words: CityCab, carbon fibre, self-supporting, composites, <i>Sprint</i> , prepreg, CBS ST 86	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

KÄSITTEET

1	JOHDANTO	1
2	HIILIKUITUKORIN SUUNNITTELU	2
3	MATERIAALIVALINNAT JA VÄLINEET	4
3.1	Sprint CBS -hiilikuidut	4
3.2	Muottigelcoatit	5
3.3	Hartsit, täytteet ja välineet	6
4	TESTIT	10
4.1	Sprint-testit	10
4.1.1	<i>Ensimmäinen CBS-testi</i>	10
4.1.2	<i>Toinen CBS-testi</i>	12
4.1.3	<i>Kolmas CBS-testi</i>	13
4.1.4	<i>Neljäs CBS-testi</i>	14
4.1.5	<i>Viides CBS-testi</i>	15
4.1.6	<i>Corecell-testit</i>	15
4.1.7	<i>CBS-kankaan käyttö puumuoteissa</i>	17
4.1.8	<i>Kittitesti</i>	19
4.2	Liimasauma-testit	19
5	CITYCABIN MUOTTIEN VALMISTUS	21
5.1	Pintamallien jysintä	21
5.2	Mallien viimeistely	22
5.3	Muottien valmistus	24
6	KORIN VALMISTAMINEN	25
6.1	Mallien valmistus	25
6.1.1	<i>Sprintin muottiin asettelu</i>	25
6.1.2	<i>Mallien uunitus</i>	28
6.1.3	<i>Säkin purkaminen</i>	29
6.1.4	<i>Sprintin oikaisumenetelmä</i>	30
6.1.5	<i>Corecellien paikoilleen asentaminen</i>	32
6.1.6	<i>Sprintin leikkaus muotoonsa</i>	33
6.2	Korin yhteenliittäminen	34

6.2.1	<i>Kylkien liittäminen muuhun koriin</i>	37
6.2.2	<i>Korin liittäminen runkoon</i>	39
6.2.3	<i>Korin liitoskohtien jäykistys</i>	41
6.3	Luukkujen valmistus	41
6.3.1	<i>Luukkujen ja puskkureiden kiinnitys koriin</i>	42
6.3.2	<i>Sivuovi-systeemin muuttaminen.</i>	43
7	ST 86-KANKAAN KÄYTTÖKOKEMUKSET	45
8	KANTAVAN HIILIKUITUKORIN VALMISTUSKUSTANNUKSET	46
9	YHTEENVETO KANTAVAN HIILIKUITUKORIN RAKENTAMISESTA	48
	LÄHTEET	50
	LIITTEET	

Liite 1. CBS ST86 käyttöohjeet

KÄSITTEET

Hartsi	Nestemäinen aine, joka kovettuu sekoittuessaan sopivaan katalyyttiin eli kovettajaan ja muuttuu kuivuessaan kiinteäksi; voidaan valmistaa monista eri raaka-aineista; yleisimpiä hartseja ovat polyesteri- ja epoksihartsit, joilla on erilaiset ominaisuudet.
Komposiitti	Kahdesta materiaalista muodostunut rakenne, jossa materiaalit eivät ole täysin sulautuneet toisiinsa, esim. teräsbetoni.
Käsilaminointi	Käsin suoritettavaa hartsin imeyttämistä kankaisiin; käsilaminointia voidaan suorittaa telalla, pensselillä tai lastalla.
Leikkausviiva	Malliin jyrstetty noin 1mm x 1 mm kokoinen upotus, josta muodostuu viiva muottiin; tätä viivaa pitkin valmis kappale leikataan mittoihinsa.
Malli	Kappale, joka on oikean osan näköinen ja mittainen, mutta ei ole välttämättä valmis tuote.
Muotti	Mallista otettu kappale, jonka muodot ovat käänteisiä haluttuihin muotoihin nähden.
Päästö	Mallin/muotin seinät eivät lukitse kappaletta paikoilleen.

1 JOHDANTO

Tämä insinöörityö on yksi monista Helsingin ammattikorkeakoulun Stadian CityCab-tutkimusajoneuvosta tehdyistä insinööritöistä. Tämä insinöörityö käsittelee CityCabin itsekantavan hiilikuitukorin valmistamisen vaiheita ja valmistuksen ongelmia.

Citycab on tulevaisuuden taksiautokonsepti. CityCabin teknisestä suunnittelusta ja valmistuksesta vastaavat Helsingin ammattikorkeakoulun Stadian opiskelijat. Auton ulkomuodosta ja sisustuksesta vastaa Helsingin taideteollinen korkeakoulu. Stadian ajoneuvoprojekteissa mukana olevat opiskelijat valitaan projekteihin työhaastattelun kautta ja viimeisenä vuonna tehdään jostakin projektin osa-alueesta insinöörityö.

Projekti alkoi vuonna 2004 esisuunnitteluvaiheella. Sen jälkeen seurasi tietokonemallinnus 2004 - 2005 ja lopulta rakennusvaihe vuosina 2005 - 2006 syksyyn asti, jolloin auto esiteltiin Pariisin autonäyttelyssä. CityCabistä aiemmin tehdyissä insinööritöissä on käsitelty ajoneuvon eri komponenttien suunnittelua, valmistusta, sähkölaitteita ja eri akselistorakenteita.

CityCab on suunniteltu alusta asti taksikäyttöön. Tärkeimpiä ominaisuuksia ovat ympäristöystävällinen moottoritekniikka, nelipyöräohjaus, ilmajousitus ja kevytrakennetekniikan hyödyntäminen korissa.

Tässä insinöörityössä selvitetään, millaisia valmistusmenetelmiä ja materiaaleja kannattaa käyttää valmistettaessa itsekantavaa hiilikuitukoria, sekä toimia suunnannäyttäjänä seuraaville projekteille siitä, miten tulevilla projekteilla saadaan vieläkin parempia lopputuloksia. Tämä insinöörityö käsittelee hiilikuitumateriaalin valmistusta, teknisiä valmistusmenetelmiä sekä valmistuksessa esille tulleita ongelmia.

Automaailman tämän hetken kuumimpia trendejä on autojen hiilidioksidipäästöjen alentaminen. Helpoin tapa alentaa ajoneuvon päästöjä on käyttää auton valmistuksessa mahdollisimman kevyitä materiaaleja.

Käytännössä tämä saavutetaan parhaiten käyttämällä komposiitteja. Hiilikuitu on komposiiteista materiaaliominaisuuksiin ja saatavuuteen nähden

ylivoimaisesti järkevin valinta valmistettaessa kevyitä, mutta silti kestäviä kappaleita. Materiaalin valinta oli siis helppo tehtävä.

Stadian tavoitteita on olla mukana kehittämässä uutta ajoneuvotekniikkaa. Koska hiilikuitu on selvästi tulossa osaksi tulevaisuuden ajoneuvoja, CityCabiin valmistettaisiin itsekantava hiilikuitukori. Käytännössä tämä koriratkaisu tarkoitti sitä, että autossa tulisi olemaan metallista tehty pohjalevy ja koko auton yläosa tulisi olemaan hiilikuitua.

Korin valmistusmateriaalina käytetään uudentyyppistä *prepreg*-hiilikuitua *Sprint* CBS -hiilikuitua. Tässä työssä tullaan testaamaan johdonmukaisesti erilaisia valmistusmateriaaleja sekä -menetelmiä, joita voidaan käyttää valmistettaessa tätä *Sprint*-hiilikuitua. Nämä erilaiset hiilikuitujen valmistusmenetelmät tulevat antamaan paljon lisätietoja komposiiteista sekä niiden hyödyntämisestä prototyyppien valmistuksessa.

Prototyypit ovat yleensä maailmalla ulkoisesti auton näköisiä, mutta harvoin ne ovat niin sisä- kuin ulkopuoleltakin täysin toimivia ajoneuvoja. CityCabissa on kuitenkin kyse täysin toimivan konseptiauton rakentamisesta, mikä asettaa todella paljon haasteita materiaalivalinnoille sekä kantavan hiilikuitukorin rakenteiden suunnittelulle ja valmistukselle. Auton valmistumisen takarajaksi oli jo projektin alussa päätetty Pariisin autonäyttely syksyllä 2006, joten auton piti olla valmis ennen sitä. Näistä lähtökohdista lähdettiin liikkeelle komposiittikorin valmistuksen suunnittelussa.

2 HIILIKUITUKORIN SUUNNITTELU

Korin suunnittelu aloitettiin päättämällä korille asetettavista tavoitteista. Hiilikuitukorille asetettiin seuraavat tavoitteet:

3 MATERIAALIVALINNAT JA VÄLINEET

Suunnitteluvaiheessa valmistusmateriaaliksi valittiin *Sprint* CBS -hiilikuitu, joka on kaksikerroksista hiilikuitukangasta, jonka sisälle on imeytetty lujitehartsi ja kovete. Tähän *Sprint*-hiilikuituun päädyttiin siitä syystä, että se ei tarvitse valmistettaessa autoklaavia, vain pelkkä uunitus alipaineessa riittää kovettamaan kankaan. Muita CBS-kankaan hyviä ominaisuuksia ovat nopea ja helppo valmistus, eli sen valmistukseen ei tarvita niin paljon ammattitaitoa.

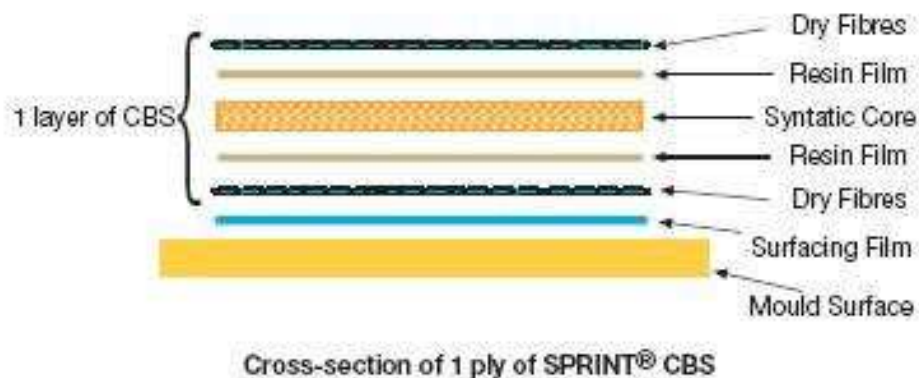
Sprint-hiilikuidun lisäksi CityCabissä tarvittiin muotteihin käytettäviä *gelcoateja* ja hartseja. Materiaalien tulisi kestää *Sprintin* korkeat valmistuslämpötilat, jotka nousevat 85 °C:n matalimasta uunituslämpötilasta aina 130 °C:een asti nousevaan pikakovetuslämpötilaan. Nämä vaativat olosuhteet oli otettava huomioon valittaessa muita valmistusmateriaaleja.

3.1 Sprint CBS -hiilikuidut

Sprint CBS -hiilikuituja löytyy montaa eri laatua. Kaikki ulkopintamuodot ja kantavat rakenteet tulisi tehdä *Sprint* CBS ST 86 -hiilikuidusta, ja kaikkien ulkopintojen viimeistelystä ja sileydestä vastaisi *Sprint* CBS SF 95 -pintakangas.

Sprint ST 86 -hiilikuitukangas

ST 86 on monikerroksinen hiilikuitukangas, joka on kasattu *sandwich*-rakenteella eli toinen puoli on toisen puolen pelikuva. Ensimmäiseksi on kerros hiilikuitukangasta, jonka jälkeen tulee hartsikerros ja keskellä on synteettistä ydintä jäykistämässä rakennetta. Tämä *Sprint*-hiilikuitukangas on 80 % kevyempää kuin rakenneteräs. *Sprint*-hiilikuitua säilytetään -18 °C:ssa, jossa se säilyy kaksi vuotta käyttökelpoiseksi. (Kuva 2.)



Kuva 2. *Sprint* CBS -hiilikuitukankaan poikkileikkaus [1, s. 1].

Ennen kuin kangasta ruvetaan käyttämään se pitää nostaa sulamaan huoneenlämpöön, missä sen käyttöaika on kaksi viikkoa sulatuksesta. Kankaan pitää antaa sulaa vähintään 12 tuntia ennen käyttöä. Kun kangas on täysin sulanut huoneenlämpöiseksi, se tuntuu ohuelta lakritsimatolta. ST 86 -kangas painaa $1\,600\text{g/m}^2$, ja se taipuu aika hyvin jyrkkiinkin muotoihin. ST 86-kankaan paksuus on kovetettuna 1.05 - 1.15 mm. (Liite 1.)

Sprint SF 95PF -pintakangas

SF 95PF -pintakangas on lasikuitua, jossa kahden kevyen lasikuitukankaan välissä on erikoisharts. Pintakankaan tarkoitus on paitsi antaa tasainen maalauspinna sekä myös suojata hiilikuituja iskujen voimasta aiheutuvalta hiilikuitujen katkeamiselta, vähentää uv-valon aiheuttamia ongelmia ja vähentää hiilikuitukuvion näkyvyyttä maalin alta. SF 95PF -kangas on aika painavaa, sillä sen ominaispaino on 700 g/m^2 . Tästä syystä sitä tulisi käyttää vain niissä paikoissa, missä vaaditaan erittäin hyvälaatuista pintaa.

3.2 Muottigelcoatit

Bakelite EPR 850 + VE 5196/H -gelcoat

Gelcoat on mallin pinnalle levitettävää maalin tapaista ainetta, jonka tehtävänä on kopioida mallin muodot muottiin. Bakeliten EPR 850 -gelcoat on todella sitkeää ainetta huoneenlämmössä. Siksi sitä joutuukin sekoittamaan ennen käyttöä. Sekoitettaessa *gelcoatia* joutuu lämmittämään, jotta sen saa juoksevaksi. Kovettajana toimii Rutapoxin VE 5196/H -

kovettaja. Kovettaja on ainetta, joka laukaisee hartsissa tai *gelcoatissa* kovettumisreaktion, kun aineet sekoittuvat keskenään.

Bakeliten-*gelcoat* kestää kuumiakin lämpötiloja, aina 180 °C asti. Tälle *gelcoatille* ei löydy kunnollisia ohjeita, joten jouduttiin tekemään testejä toiminnan varmistamiseksi. Testeissä Bakeliten-*gelcoat ei toiminut* kunnollisesti, koska osa muoteista ei irronnut malleista ollenkaan ja levitettäessä ainetta pystysuorille seinille se valui alas.

SP 127 -gelcoat

Varalla oli SP-Systems:in SP 127 -gelcoat, jos Bakeliten kuumankestävä -*gelcoat* ei toimisikaan halutulla tavalla. Tästä *gelcoatista* oli jo aikaisempiakin kokemuksia, joten se toimisi varmasti muottien valmistuksessa. Suurena miinuksena on vain, että SP 127 -*gelcoat* ei kestä paljoa lämpöä, mistä seuraa *Sprintin* pitkä uunitusaika.

3.3 Hartsit, täytteet ja välineet

Rutapox 0169 + VE 5196/H -kovete

Hartsi on nestemäistä ainetta, joka kovetteeseen sekoittuessaan muodostaa lujan muovilujitteen. Rutapox-hartsi on kuumankestävänä hartsina aika kallista, verrattuna tavalliseen epoksihartsiin. Rutapox-hartsia tulisi käyttää kaikissa CityCabin muoteissa. Näin muoteille saadaan korkea lämmönsietokyky.

Ampreg 22 -hartsi

Ampreg 22 -hartsi ja kovetesysteemi olivat varalla, jos Rutapox-hartsi ei rupeaisi toimimaan. Valmistuksessa käytettiin hidasta kovetetta, jolla työskentelyaika pitkittyi normaalista tunnista kolmeen tuntiin.

Mikropallo-täyte

Mikropallot ovat onttoja ja todella pieniä lasipalloja, joita käytetään hartsin seassa keventämässä hartsin ominaispainoa.

Piituhka-täyte

Piituhka on helposti pölyävää ja pienijakoista tuhkaa. Piituhka tekee hartsiseoksesta sitkeämpää, minkä jälkeen sitä on helpompi levittää kalteville pinnoille. Mikropalloja ja piituhkaa käyttämällä hartsista saa helposti tehtyä hyvää liimaa. Jos haluaa lisätä seoksen lujuusominaisuuksia, pitää siihen lisätä vielä katkokuituja.

Spabond 340 LV -muottiliima

Spabond 340 LV -liima on erittäin hyvä 2-komponenttiliimaa suurien rakenteiden liimaamiseen, koska se muodostaa erittäin lujan liimasauman. Liima sekoittuu suoraan kovettajaan patruunoille saatavan liimapuristimen sekoitusnokassa, mikä nopeuttaa liiman levitystä. Liima täyttää suuriakin rakoja, ja sitä on saatavilla kolmella eri kovettajalla.

Corecell T-500 SAN -täytevaahto

CityCabiin piti tehdä täysin itsekantava hiilikuitukori. Kantavuutta ja lujuutta koriin saa helposti lisää tekemällä rungosta palkkimaisen. Komposiittikorissa, palkkirakenteen saa helpoiten tekemällä palkit siten, että kahden hiilikuitulevyn väliin laitetaan jotain täytettä. *Corecell*-vaahto on juuri tämänlaista täytettä, joka täytti kaikki materiaaleille asetetut ominaisuuskriteerit.

Corecell on uretaanivaahdon tapaista kevyttä vaahtolevyä, mutta paljon lujempaa, ja se kestää kuumuutta. *Corecell*-vaahtoa on mahdollista muokata mattopuukolla, joten siitä on helppo tehdä sopivan kokoisia paloja jäykisteiksi. Sitä on myös saatavilla eri paksuuksina ja profiileina. Korin jäykistämiseen käytettiin 10 mm:n ja 15 mm:n paksuisia *Corecell*-levyjä. *Corecell*-levyistä kasattiin tarvittavan paksuisia palkkeja ja muotoja, käyttökohteen mukaan.

Frekote 700-NC -irrotusaine

Irrotusaineena käytettiin Loctiten Frekote 700-NC -irrotusainetta. Irrotusaine muodostaa muotin pinnalle tarttumista hylkivän pinnoitteen. Frekote on useille hartsityypeille soveltuva irrotusaine, joka kestää useita irrotuksia yhdellä levityskerralla. Frekote kestää myös korkeita valmistuslämpötiloja.

Lasikuitukankaat

Lasikuitukudoksena kaikissa muoteissa käytettiin 300g/m²-2/2-twillikangasta, joka on helposti käytettävää ja suhteellisen edullista laatuun nähden. Kangas mukautuu hyvin muotin muotoihin, eikä siitä irtoa paljoa lasikuitusäikeitä.

Karhennuskangas

Karhennuskangas on lujaa kangasta, jossa on aika karkea kudoks. Tämänlaista kangasta käytetään paikoissa, joihin tullaan mahdollisesti tulevaisuudessa vielä laminoimaan jotain kiinni. Karhennuskangas jättää valmistettavan pinnan karheaksi, mikä edesauttaa seuraavan kerroksen tarttumista edellisen kerroksen päälle. Karhennuskangas myös irtoaa laminoidusta pinnasta, vaikka se kastuukin hartsiin kovetuksen aikana.

Reikäkalvo

Reikäkalvon tehtävä on jakaa painetta tasaisesti muotin pinnalle. Nimensäkin mukaisesti se on todella ohutta muovikalvoa, jossa on pieniä reikiä. Reikäkalvoa on saatavilla erilaisilla reikäkuvioilla.

Imuhuopa

Imuhuopa on 3 - 5 mm paksua kangasta, jonka tehtävä alipainesäkityksessä on johtaa ilma tasaisesti pois joka puolelta muottia. Kankaan toinen tehtävä on imeä ylimääräiset hartsit pois valmistettavasta materiaalista.

Säkityskalvo

Säkityskalvo on joustavaa todella ohutta muovia. Säkityskalvoja löytyy monia eri laatuja. Korin valmistuksessa käytettiin joustavaa kalvoa, joka kestää myös kovia lämpötiloja.

Tiivistenauha

Tiivistysnauha DT90B on muottipinnan ja säkityskalvon välissä varmistamassa ilmatiiviyyden valmistettavalle kappaleelle. Nauha on lämmönkestävää ja yhtä venyvää kuin pehmeä toffee.

Imujalka

Imujalka on säkin sisään tuleva kappale, jonka tehtävä on imeä ilmaa pois muotin ja säkityskalvon sisältä. Jalan tulisi olla sellainen, että se imisi ilmaa laajalta alalta, eikä hartsi saisi tukkia sitä helposti.

Uuni

DI Jorma Lemmetyinen oli suunnitellut ja rakentanut täysin toimivan siirrettävän uunin CityCabin *Sprint*-hiilikuitujen uunitusta varten. Uunin seinät oli rakennettu lämpövillalevyistä. Lämpövillalevyt muodostivat uunin sisälle lämpöä eristävän seinän, jonka tarkoituksen oli pitää lämmin ilma uunin sisällä. Villalevyt oli ruuvattu kiinni sinisten Finnfoam-levyjen läpi puukehikoihin pitkillä ruuveilla. Puukehikot oli kiinnitetty nurkista toisiinsa ruuveilla. Valmis kehikko oli vielä pönkitetty seiniin tiiviyden varmistamiseksi. (Kuva 3.)



Kuva 3. Näkymä uunin sisältä. Imuletku ja lämpötila-anturit on suojattu lämmöltä teipin ja lämpövillan avulla.

Uunin lämmityksestä vastasi kaksi kattoon asennettua vastusta, joita ohjattiin tietokoneohjelman avulla. Toinen vastuksista on kuvan oikeassa yläreunassa. Ohjelma säätelee vastuksien päällä oloa uunin sisälle asennettujen kuuden lämpötila-anturin lähettämän tiedon perusteella suhteutettuna ohjelmalle asetettuihin arvoihin.

Lämpötila-antureiden johdot oli tuplasuojattu korkeilta lämpötiloilta johtojen omalla lämpösuojalla sekä johtojen päälle laitetuilla lämpöteipeillä. Uunia oli mahdollista lämmittää halutulla nopeudella, esim. 2 astetta minuutissa *Sprint*-hiilikuidun valmistusohjeitten mukaan. Uunin kattoon oli asennettu myös kaksi lämmön kestävää tuuletinta, jotka huolehtivat ilman kierrosta uunin sisällä.

Sivukylkien valmistuksessa oli siis käytössä noin 15 m³:n kokoinen kiertoilmauuni, jonka lämpötilan säätö oli mahdollista 0,5, °C:n tarkkuudella. Uunin tilavuutta voidaan helposti suurentaa tai pienentää uunitettavan kappaleen tilantarpeen mukaan.

Alipainepumppu

Alipaineistettu muotti vaatii alipainepumpun käyttöä. Valmistuksessa käytetty pumppu oli Leybold Heraeus SV 65 -merkkinen, ja se toimi sähkömoottorin avulla. Vaikka pumppu oli aika vanha, se kykeni tuottaman tarvittavan 0,95 barin alipaineen.

4 TESTIT

Testien tarkoitus on varmistaa, että tuotteet toimivat oikein niin kemiallisesti kuin myös valmistukselliselta kannaltakin katsottuna. Testeillä on myös mahdollista parantaa valmistuksen tuottavuutta sekä laatua. Aina kun ruvetaan käyttämään jotain tuotetta, sen toimivuus pitää testata johonkin pieneen osaan ennen töiden aloittamista.

4.1 Sprint-testit

4.1.1 Ensimmäinen CBS-testi

Ensimmäisessä *Sprint*-testissä testattiin ST 86 -kankaan toimivuutta pienellä alalla SP 127:lla tehtyyn muottiin. Kokeessa käytettiin muottia, *Sprint*-hiilikuitua, karhennuskangasta, reikämuovia, imuhuopaa, imujalkaa ja säkityskalvoa. Tuotteet laitettiin kyseisessä järjestyksessä irrotusaineella käsiteltyyn muottiin. *Sprintiä*-kuitua laitettiin muottiin kaksi pientä suikaletta

siten, että palat olivat päällekkäin noin parin sentin alalta. Säkityskalvon alle laitettiin kolme lämpötila-anturia mittaamaan uunin lämpötilaa

Muotti laitettiin uuniin, jossa lämpötilaa sääteli tietokone muotin pinnalla olevien lämpötila-antureiden lähettämän tiedon mukaan. Uunissa oli myös muotin ulkopuolella kolme lämpötila-anturia, jotka mittasivat lämpötilaa uunin katossa sekä lähellä muottia. Tavoitelämpötilaksi asetettiin 85 °C, jossa lämpötila pysyi koko kokeen ajan ± 1.5 °C:n tarkkuudella. Lämpötila nostettiin tavoitelämpötilaan hallitusti 2 °C minuutissa toleranssin ollessa -0,7 °C +1,0 °C. Kattolämpötila oli kolme astetta korkeampi, eli noin 88 °C.

Säkityksessä käytettiin koko kokeen ajan 0,9 barin alipainetta. Uunitus kesti 10 tuntia koko ajan lämpötilaa valvoen. Tämän jälkeen uuni sammutettiin ja lämpötilan annettiin laskea 40 °C, minkä jälkeen alipaine poistettiin muotista. Aamulla muotti avattiin ja testin tuloksia päästiin arvioimaan.

Sprint-kangas oli onnistunut yllättävän hyvin. Muottia vasten ollut pinta oli muotoutunut hyvin muotin muotoihin. *Sprintin* sisällä ollut hartsa oli sulanut ja levinnyt aika hyvin. Pintaan oli kuitenkin vähän jäänyt ilmahuokosia. Jyrkissä muodoissa *Sprintin* sisällä olleet hartsimikropallot olivat täyttäneet jyrkät nurkat, mikä on huono asia, koska pinnasta ei tule tasapaksua, ja samalla lujuus kärsii. Positiivinen asia oli, että *Sprint*-suikaleiden liitoskohta oli sulautunut täysin muottia vasten ja liitos oli tukeva. (Kuva 4.)



Kuva 4. Ensimmäinen Sprint-testin malli. Kappale on muuten onnistunut hyvin, mutta hartsa on täyttänyt jyrkän kulman.

Sprintin paksuus liitoksen kohdalta oli 1,7 - 1,8 mm, kun se vastaavasti oli 1,05 - 1,15 mm muualla *Sprintin* pinnassa. *Sprint*-kangas oli vähän litistynyt niistä kohdista, joissa kankaat alivat päällekkäin. *Sprintin* karhennuskankaan puoleinen pinta oli vähän karhea ja siihen oli jäänyt jäljet lämpötila-antureiden johdoista, mutta nämä eivät näkyneet toiselle puolelle. Imujalkakin oli jättänyt jäljet *Sprintin* pintaan, ja tämä jälki heijastui toisella puolella muottia. Muotissa olleen jalan kohdalle oli jäänyt vähän enemmän ilmaa *Sprintin* pintaan.

Testi meni kohtalaisen hyvin, vaikka pintaan jäikin vähän ilmahuokoisia. Liitoskohta onnistui hyvin, ja pinta oli mukautunut muottiin hyvin, ja mikä parasta, *Sprint*-kangas irtosi ongelmitta. Tuloksia yritetään parantaa laittamalla imujalan ja lämpötila-antureiden kohdalle enemmän imuhuopaa sekä lämpökäsittelmällä muotti 50 °C:ssa ennen laminointia, sillä nyt muottiin oli jäänyt *Sprintin* pintakuvio, eli muotti oli vähän sulanut uunituksen aikana.

4.1.2 Toinen CBS-testi

Toinen *Sprint*-testi tehtiin käyttäen Bakelite EPR 850 + VE 5196/H (Rutapox kovettaja) -systeemiä muotissa. Tämä *gelcoat* kestää kuumuutta 180 °C:een asti, kun taas SP 127 -*gelcoat* kestää vain noin 80 °C. Hartsina muotin teossa toimi Rutapox 0169, johon käytettiin VE 5196/H -kovettajaa.

Irrotusaineena toimi taas Frekote 700-NC. Muotin ollessa valmis laitettiin muottiin CBS SF/95/S2/700g-kangasta sekä CBS ST 86 -kangasta. Ensimmäisestä kokeesta oppineena muottiin laitettiin vähän enemmän pintahuopaa lämpötila-anturin ja imujalan kohdalle. *Sprint*-kankaat aseteltiin muottiin siten, että toisella puolella oli SF 95 ja sen päällä vielä ST 86 -kangasta, ja toisella puolella muottia oli vain ST 86:tta.

Koe valmisteltiin samalla tavalla kuin ensimmäisessä *Sprint*-testissä. Muottia pidettiin tunti 120 °C:ssa. Lämpötila nostettiin jälleen tavoitelämpötilaan 2 °C/min, ja muotin annettiin jälleen jäähtyä 40 °C:een ennen kuin alipaine poistettiin.

Pakettia purettaessa huomattiin, että se oli yllättävän tiukasti kiinni muotissa. Osa SF 95 -kankaasta jäi jopa kiinni muottiin, mutta lopulta se irtosi. Pinnan paksuus oli 0,9 - 1,0 mm luokkaa siellä, missä oli vain ST 86 -kangasta.

Kaikkialla, missä oli myös käytetty SF 95 -kangasta, kappaleen paksuus oli 1,3 - 1,4 mm luokkaa.

Pinnan laatu oli samaa luokkaa ST 86 -kankaassa kuin aikaisemmassakin testissä eli kohtalaista. Pientä kehitystä oli kuitenkin tapahtunut. Nyt imujalan ja lämpötila-anturin jäljet eivät näkyneet niin selvästi valmiissa pinnassa. SF 95 -kankaan pinnasta tuli sileä niin kuin pitikin, mutta se ei ollut tarttunut kunnolla kiinni ST 86 -kankaaseen. (Kuva 5.)



Kuva 5. Toisesta Sprint-kappaleesta osa SF 95 -pintakankaasta repesi irti.

4.1.3 Kolmas CBS-testi

Seuraava testi tehtiin Rutapox-gelcoatilla, ja muotti oli sama kuin toisessa Sprint-testissä. Erona edelliseen testiin oli, että nyt muotti oli lämpökäsitelty hionnan jälkeen, ennen kuin frekote-irrotusaine oli levitetty. Tällä kertaa myös käytettiin SF 95- ja ST 86 -Sprint-kankaita, mutta SF 95 laitettiin toisinpäin kuin edellisessä kokeessa (kuva 6.). Uunitus suoritettiin tällä kertaa 120 °C:ssa yksi tunti, niin kuin nykyiset ohjeet käskivät tekemään. Aikaisemmat ohjeet ilmoittivat lämpötilaksi 85 °C ja ajaksi 10 tuntia. (kuva 6.)

Irrotuksessa huomattiin, että spritti oli taas todella tiukasti kiinni muotissa. Osa sileästä Sprint-kankaasta jäi taas muottiin kiinni ja ST 86 halkesi jostain kohti kahtia. Pinnan laatu oli aavistuksen parempaa kuin edellisessä

testissä, mutta kappale pitää saada irti, jotta siitä olisi jotain hyötyä. Varsinkin SF 95:n pinta oli selvästi parempilaatuista kuin toisesta kokeesta saatu. Kappaleen lujuus oli samaa luokkaa kuin toisessa testissä pintapuolisesti kokeiltuna.



Kuva 6. Rutapox gelcoat-muottiin tehty Sprint-testikappale.

4.1.4 Neljäs CBS-testi

Neljännessä *Sprint*-testissä testattiin kahta eri *gelcoatia* samassa muotissa, eli Rutapoxia ja SP 127:ää. Toinen puoli muotista käsiteltiin Rutapox-gelcoatilla ja toinen SP 127:lla. Muotti käsiteltiin uunissa 85 °C:ssa ja sen jälkeen frekote-irrotusaineella. Taas käytettiin molempia SP 86 ja SF 95 *Sprint*-kankaita. Muottia uunitettiin 85 °C:ssa 10 tuntia, jonka jälkeen sen annettiin jäähtyä 40 °C:een. Aamulla säkki purettiin, ja hiilikuitu lähti irti muotista molempien geelien kohdalta helposti. Mitään selitystä ei saatu siitä, miksi Rutapox ei toiminut kahdessa aikaisemmassa testissä.

Sprint onnistui tehdyistä testeistä parhaiten. Parannusta ensimmäiseen testiin verrattuna oli tullut siinä, että pinta oli vähemmän huokoista kuin ensimmäisessä testissä, ja nyt hiilikuidusta näki molemmat kuidun syyt kunnolla. Pinnan laatu oli yhtä hyvää molempien geelien kohdalta.

4.1.5 Viides CBS-testi

Viides testikappale oli Formula Studentin sivukate, joka uunitettiin samalla tavalla kuin neljäs kappale. Siihenkin laitettiin molempia hiilikuituja. Pintakangasta laitettiin taas vain pieni suikale muottiin. Yhteen kohtaan SF 95:ttä testattiin spraypurkista ruiskutettavaa tarraliimaa, koska SF 95 on

itsessään huono tarttumaan mihinkään pintaan. Sprayliimakaan ei parantanut tarttuvuutta merkittävästi, joten sitä ei laitettu koko alalle. Kappale irtosi muotista ongelmitta, ja pinnan laatu oli hyvää. Ainoastaan siinä kohtaa, mihin oli laitettu tarraliimaa, pinnasta oli tullut karheaa. Kappale oli mennyt myös vähän kieroön, koska se ei istunut enää muottiin kunnolla irrotuksen jälkeen. Syyksi epäiltiin ohuempaa SF 95 kangasta, joka on aiheuttanut jännitystä hiilikuitukappaleen pintaan. Imujalan kohdalle oli tullut myös vähän enemmän huokoisuutta kuin muualle kappaleeseen.

4.1.6 Corecell-testit

Seuraavassa testissä testattiin, miten *Corecell* kannattaa kiinnittää *Sprint*-hiilikuituun kiinni. *Sprint*-kappaleena käytettiin viidennen testin osaa. Sen päälle laitettiin kaksi eri menetelmällä kiinnitettyä *Corecell*-palaa.

Ensimmäisessä menetelmässä *Corecell*-levy liimattiin kiinni Rutapox-hartsiin sekoitetuilla mikropallonimassalla. Massa laitettiin *Sprintin* päälle, sen päälle *Corecellin* pala ja päällimmäiseksi yksi kerros *Sprint*-hiilikuitua. Toisessa menetelmässä *Corecell*-levy liimattiin kiinni *Sprintin* avulla. *Corecell*-levyn alle laitettiin juuri levyn kokoinen *Sprint*-pala ja *Corecellin* päälle *Sprintiä* samalla tavalla kuin ensimmäisessä menetelmässä. Toinen menetelmä erosi ensimmäisestä myös siinä, että *Corecellien* sivut oli viistetty 45 asteen kulmassa. (Kuva 7.)



Kuva 7. Kovetetun Sprint-kappaleen päälle on laitettu Corecell-palat, jonka päälle on vielä laitettu Sprint ST 86 kangasta. Kuvassa Sprint-palat ovat märkiä.

Sprint-pala laitettiin uunituksen ajaksi takaisin muottia vasten ja säkitettiin muotin reunoja myöten. Uunitus suoritettiin 90 °C:ssa 10 tuntia vakio­lämmössä. Molemmat testit onnistuivat kohtalaisen hyvin, eli *Corecell*-levy oli kiinnittynyt molemmilla tavoilla hyvin kiinni malliin. Mikropallonissa olleen *Corecellin* alapuolella ollut *Sprint* oli mennyt vähän mutkalle, ja jyrkissä nurkissa *Sprint*-kangas ei ollut taipunut kunnolla muotoihin. (Kuva 8.)



Kuva 8. Mikropallonihartsilla kiinnitetty Corecell kappale meni hieman kaarelle uunituksen aikana.

Kahden *Sprintin* välissä ollut *Corecell* oli onnistunut täydellisesti. *Corecell* -levy oli painautunut tiukasti kappaleeseen kiinni. Viistotut reunat olivat toimineet hyvin ja *Sprint-kangas* oli taipunut muotoihin paremmin. (Kuva 9.



Kuva 9. Hyvin onnistunut *Corecellin* kiinnitys, pelkän *Sprint-kankaan* avulla.

Päätettiin käyttää katossa jälkimmäistä menetelmää, koska se oli helpompi ja nopeampi tehdä sekä jälki oli parempaa. Katossa myös hiottiin *Corecelleista* viistotut seinät pyöristetyiksi.

4.1.7 CBS-kankaan käyttö puumuoteissa

Seuraavassa testissä testattiin, miten *Sprint ST 86* -hiilikuidulla saa tehtyä halvalla hyvää eli tarkoituksena oli vähentää valmistuskustannuksia työvaiheita karsimalla. Muottina toimi kuumakäsitelty laudehaapa. Haapa maalattiin Miranolilla, ja maalin kuivuttua levitettiin irrotusainetta päälle. Säkitys tehtiin ohjeitten mukaan ja paketti laitettiin uuniin.

Sprint-kangas irtosi ongelmitta, ja pinnanlaatu oli yhtä hyvä kuin aikaisemmissa testeissä. Ainoastaan puumuotin pintaan oli jäänyt *Sprint* -kankaasta sen pintakuvio. Tämä johtui siitä, että Miranolia ei kuumakäsitelty ennen uunitusta, ja se pehmeni vähän uunituksen aikana. Tästä tuloksesta innostuneena tehtiin vaikeampia muotoja sisältävä kappale. Tekniikka

tullaan testaamaan etu- ja takavalojen valmistuksessa. Muodot jyrsitään MDF-levyyn.

CityCabin valoumpioitten valmistamisessa koetettiin tehdä malli suoraan MDF-levyyn jyritystä muotista. Laboratiomestari Hannu Paajanen TAIK:sta liimasi puuliimalla MDF-levyjä riittävän monta kerrosta päällekkäin ja jyräsi niihin valojen muotit. Muotit jouduttiin taas hiomaan sileiksi, mikä oli yhtä helppoa kuin muottipastankin hionta. Muotteja maalatessa joutui pohjamaalista tekemään aavistuksen sakeampaa ja silti sitä joutui maalaamaan kaksi kerrosta, koska MDF-levy imi maalia sisäänsä.

Kun huokoset oli tukittu pohjamaalilla, niin voitiin pintamaalikerros maalata. Maalipinnasta tuli yhtä sileä kuin lasikuitumuotistakin eli tähän asti MDF toimi niin kuin oli toivottu. Takavalomuottien pinnalle ladottiin ST 86-*Sprint-kangaskankaat*, ja valot laitettiin uuniin kovettumaan. Kovetus tehtiin normaalisti 85 °C:ssa. Mallit irtosivat ilman suurempia ongelmia muotista ja pinnan laatu oli yhtä hyvää kuin ennenkin, eli testi tehdä halvalla hyvää onnistui.

Seuraavaksi uuniin laitettiin takavalojen ympyräkehys ja etuvalojen muotit, joihin oli käytetty viimeiset *Sprint CBS ST 86* -hiilikuitukankaat. Kaikki muotit laitettiin uuniin, ja taas kovetettiin kappaleet 120 °C:ssa pitäen lämpöä yllä tunnin verran. Kun paketit purettiin takavalojen ympyräkehys oli jämähtänyt muottiin niin tiukasti kiinni, että muotti meni korjauskelvottomaksi. Syynä tähän jämähtämiseen on monia. Takavalojen muotin seinät olivat melkein pystysuorat irrotussuuntaan nähden eli niissä ei ollut tarpeeksi päästöä. Toinen merkittävä syy oli, että lämpö ei ollut kunnolla päässyt muotin syvän kolon sisään, joten CBS ei ollut kovettunut kunnolla.

Etupalot taas eivät olleet kovettuneet kunnolla. Niitä kovetettiin taas kuumailmapuhaltimella 110 °C:ssa ja valot saatiin kovetettua. Sitten ruvettiin irrottamaan valoja ja kuten oli ollut odotettavissa, ne olivat todella tiukassa. Valoja sai hakata kumivasaralla samaan aikaan kun lyötiin kiiloja muotin väliin. Valot irtosivat muuten täydellisenä, paitsi että MDF-levy oli haljennut irti jyrkistä kulmista, mutta mikä tärkeintä hiilikuituinen valoumpio oli pysynyt ehjänä. MDF-muotti oli luultavasti hajonnut vasaralla hakkaamisen aikana.

4.1.8 Kittitesti

Seuraavassa testissä oli tarkoitus testata, miten kitatussa muotissa pysyy kitti kiinni, kun päälle kovetetaan kerros *Sprint* ST 86:tta. Muottina käytettiin tuulilasin muottia, johon levitettiin kittiä päälle, minkä jälkeen kitti hiottiin tasaiseksi. Frekotea levitettiin normaaliin tapaan, jonka päälle levitettiin *Sprint*-kankaan suikaleita. Suikaleet laitettiin oikean tuulilasikerroksen kanssa uuniin.

Testikappaleet irtosivat muotista helposti, mutta joissain paloissa kitti jäi hiilikuituun kiinni. Syynä tähän kitin muotista irtoamiseen oli, että kitti oli levitetty sileälle gelcoat-pinnalle ilman pinnan karhennusta. Päätettiin käyttää pakkelia muottiin tulevien kolojen korjaukseen. (Kuva 10.)



Kuva 10. Kittitestissä osa pakkelistä jäi kiinni uunituksen aikana *Sprint*-kankaaseen.

4.2 Liimasauma-testit

Liimojen saumojen pitävyyttä testattiin kiilakokeella. Testissä liimattiin Spabond 340 LG -liimalla ohuita pari senttiä leveitä hiilikuitusuikaleita toisiinsa. Liima tuli puristimesta ensiksi vähän tummana, mutta alkoi vaaleta kovetteen sekoittuessa paremmin liiman sekaan. Valmistuksessa käytettiin nopeaa eli punaisen väristä kovetetta.

Tehtiin kaksi eri koekappaletta. Molemmat kappaleet hiottiin 80-karheuksisella hiomapaperilla ja puhdistettiin asetonilla ohjeiden mukaisesti. Ensimmäiseen kappaleeseen laitettiin liima vasta sitten, kun liiman väri ei enää muuttunut sekoittimessa. Kappaleet oli puristettu toisiinsa 3 mm reiän

läpi kiristettävillä kiinnikkeillä, joita tulotisiin myöhemmin käyttämään korinkin liimauksessa. Kiinnitysruuvit oli käsitelty irrotusaineella ennen liimausta.

Kappaleet kovetettiin 55 °C 8 tuntia, minkä jälkeen kiinnikkeet poistettiin ongelmitta. Kappaleita ruvettiin vääntämään irti toisistaan työntämällä puukko liuskojen väliin ja kääntämällä puukkoa sauman välissä. Ensimmäinen liimasauma oli vähän löysempi, ja osa liimasta ei ollut täysin kuivunut, joten liima halkesi osittain vieden kuitua ja osittain katketen liimasaumasta. Syitä tähän oli monia. Liimasauma oli kappaleiden välillä 0,5 - 1,5 mm paksu, eikä kovete ollut sekoittunut kunnolla liimaan. (Kuva 11.)



Kuva 11. Spabond 340 LG-liimalle tehdyn kiilakokeen tulokset. Oikealla puolella liima ei ole täysin kovettunut. Vasemmalla puolella liima on kuivunut ja liima on pitänyt ja hiilikuitu on revennyt.

Toinen kappale oli todella tiukasti kiinni, eikä siinä pettänyt liima ollenkaan, vaan hiilikuidusta irtosi kerros pinnalta irti. Näistä tuloksista pääteltiin, että liima toimii, mutta kuivuminen vaatii vähintään 8 tuntia. Korin osien liimauksissa päätettiin pelata varman päälle, ja kovetus ajaksi valittiin 12 tuntia 55 °C.

5 CITYCABIN MUOTTIEN VALMISTUS

5.1 Pintamallien jysintä

CityCabin mallit tehtiin vanhalla hyväksi havaitulla menetelmällä. Aluksi ulkomuodot jysittiin 3D-muottijysimellä karkeasti muotoonsa suuriin styrox-levyihin 8 mm:n *offsetilla* Taideteollisen korkeakoulun malliveistämössä. Jysijämasterina toimi laboratioinsinööri Hannu Paajanen. (Kuva 12.)



Kuva 12. Kylkimallin jysintä käynnissä 3-D-jysimellä TAIK:in tiloissa.

Kun karkeat muodot oli saatu jysittyä, niin mallien päälle laitettiin vähintään 8 mm:n paksuinen kerros muottipastaa. Muottipasta on saventapaista ainetta, mutta omaa paremmat työstöominaisuudet. Pasta on aika kallista, joten sitä kannattaa käyttää säästeliäästi.

Kun pasta oli laitettu mallien päälle, pinnat jysittiin hienommalla terällä juuri oikeaan tasoon. Mallit valmistettiin noin 1,5 m x 1,5 m:n paloihin, koska jysimeen ei mahtunut suurempia kappaleita. Palojen pienestä koosta seurasi se, että CityCabin kylkimallit jouduttiin yhdistämään yhdeksi kokonaisuudeksi liimaamalla kappaleet yhteen.

Kun malleja alkoi valmistua, ne kuljetettiin kuorma-autolla Ilomantsiin, koska siellä sijaitsi koulun etäopiskelulaboratorio. Tiloiksi oli vuokrattu noin 200 m²

vanhasta koulusta, joka tarjosi riittävästi tilaa komposiittikorin valmistukseen. Opetuksesta ja järjestelyistä vastasi diplomi-insinööri Jorma Lemmetyinen ja käytännön tietotaidosta vastasi teknikko Seppo Laukkanen.

5.2 Mallien viimeistely

Mallien viimeistely jäi tehtäväksi käsin Ilomantsissa. Viimeistely piti sisällään mallien yhteen liittämisen, sileäksi hionnan sekä maalauksen. Viimeistely alkoi mallien hiomisella. Malleihin oli jäänyt jyrinnän jälkeen pieniä harjanteita, jotka piti hioa pois. Suuret pinnat oli mahdollista hioa koneella, mutta yli puolet pinnoista jäi hiottavaksi käsin. (Kuva 13.)



Kuva 13. Oikean kylkipalojen toiseensa sovittelua Ilomantsissa.

Yhden kylkimuotin sileäksi hiomiseen kului noin 30 miestyötuntia. Muotteja hiottaessa hyvin äkkiä huomattiin, että pastoituksen laatu vaihteli aika paljon. Tämä ilmeni siten, että pastoitukseen tuli selviä koloja ja aukkoja, jotka jouduttiin kittaamaan umpeen ja hiomaan uudestaan. Kittaminen hidasti mallien viimeistelyä todella paljon, sillä hiomistyömäärä melkein tuplaantui ja välissä piti odottaa kitin kuivumista.

Sileän pinnan saavuttamiseksi jouduttiin levittämään monta kittikerrosta. Kitti oli vielä kovempaa hiottavaa kuin pasta, joten tässä tehtiin todella paljon ylimääräistä työtä pastoitajan virheiden takia.

Kun mallit oli ensin hiottu karkeasti tasoon karkeudeltaan 80 hiomapaperilla, minkä jälkeen oli vuorossa 180 hiomapaperi. Lopulta mallit vielä hiottiin 280 kuivahiomapaperilla. Seuraavaksi liimattiin kylkimallit yhteen. Liimana käytettiin Kiilto-liimaa. (Kuva 14.)



Kuva 14. Oikean kylkimuotin reiät umpeen pakkeloituna, valmiina tasoon hiottavaksi.

Lattialle oli laitettu kaksi pitkää rautaista I-palkkia, jotka varmistivat kylkimallien suoraan liimauksen. Palkkien päälle aseteltiin pitkät poikkipuut, joiden päälle mallit liimattiin kiinni. Liimaa laitettiin mallien väliin sekä puiden ja mallien väliin. Liimauksen ajaksi mallit puristettiin puristimilla tiukasti toisiaan ja palkkeja vasten. Mallit saatiin kohdistettua toisiinsa niiden sivuille jyrskyillä kohdistusympyröillä, joihin sopi 100 mm halkaisijaltaan oleva putki. Liimauksen jälkeen liimaussaumat vielä hiottiin, minkä jälkeen muotit olivat maalausvalmiita.

Muotit puhdistettiin huolellisesti ennen maalausta asetonilla, jonka jälkeen ne maalattiin maaliruiskulla ensin valkoisella Inerta 51B -pohjamaalilla. Pohjamaalin päälle maalattiin kaksi mustaa kerrosta Inerta 50B -pintamaalia.

Molemmissa maaleissa ohentimena toimi Teknosolv 9506. Maalien kuivumisaika oli 12 tuntia. Kuivuneen pintamaalin pinta viimeisteltiin vielä 350-karheuksisella vesihiomapaperilla, jotta maalauksessa syntyneestä appelsiinipinnasta päästäisiin eroon. (Kuva 15.)



Kuva 15. Hionnan jälkeen muotit maalattiin valkoisella pohjamaalilla.

5.3 Muottien valmistus

Muottien valmistus tapahtui seuraavissa vaiheissa:

- irrotusaineen levitys kolmeen kertaan 15 minuutin välein, jonka jälkeen vähintään kolmen tunnin tauko
- *gelcoat*in levitys pensselillä, jonka jälkeen 1 - 2 tunnin tauko
- hartsin ja lasikuitukankaiden mallin päälle laminointi
- muotin kovetus, joka kestää 12 tuntia huoneen lämmössä, lisäksi vielä kuusi tuntia uunissa 60 °C
- muotin irrotus ja reikien paikkaus kitillä.

6 KORIN VALMISTAMINEN

6.1 Mallien valmistus

6.1.1 *Sprintin muottiin asettelu*

Ensiksi levitettiin taas Frekote-irrotusaine muotin pinnalle. Tämän jälkeen alettiin leikellä muotin pohjalle 12 tuntia lämpiämässä ollutta *Sprint* CBS ST 86 -kangasta. Kankaat paineltiin tiiviisti sormin muottia vasten ja saumakohdat laitettiin vain noin 20 mm:n alalta päällekkäin.

Sprint-kangas leikattiin vain pari senttiä leikkausviivojen yli asennusvaiheessa, jolloin välttyttiin turhilta hukkapaloilta. Kokemus on osoittanut, että palat kannattaa asetella sellaisessa järjestyksessä, että kulmat ja nurkat jäävät viimeiseksi.

Seuraavaksi muottiin laitettiin karhennuskangas, joka tekee malliin karheen pinnan, mikä varmistaa myöhemmin lisättävien kerrosten tarttumisen mallin sisäpinnalle. Karhennuskangas leikataan reilusti *Sprint*-kankaiden reunojen yli, ja se kannattaa laittaa mahdollisemman hyvin muotin pohjalle, koska se helpottaa kankaan myöhempää irrotusta. (Kuva 16.)



Kuva 16. Oikeaan kylkimuottiin aseteltua ST 86- ja karhennuskangasta.

Karhennuskankaan jälkeen muotin pohjalle laitetaan reikäkalvo. Kalvo kannattaa kiinnittää muottiin kiinni lämmönkestävällä teipillä, mikä varmistaa kalvon paikoillaan pysymisen. Imuhuopa leikataan seuraavaksi muotin pohjalle, jonka tehtävänä on johtaa ilma pois jokaisesta muotin nurkasta ja kolosta.

Vaikeisiin paikkoihin voi tehdä huovasta johteita, pyörittämällä huopaa vähän rullalle ja asettamalla rullia menemään ristiin muotin ympäri. Tehtyjen kokeiden pohjalta voitiin todeta, että imujalan kohdalle on hyvä laittaa ainakin nelinkertainen imuhuopa, niin vältetään imujalan *Sprint-kankaisiin* tekemiltä jäljiltä.

Seuraavaksi laitetaan imujalka hyvälle paikalle keskelle muottia ja muotin reunat puhdistetaan vielä kerran asetonilla. Tämän jälkeen kiinnitetään muotin reunoille ympäriinsä tiivistysteippi DT90B. Tämä teippi on kaksipuolista paksua teippinauhaa, joka kestää lämpöä. Teippi on noin 2 mm paksua ja tuntuu sormissa sinitarralta.

Teipistä irrotetaan suojateippi toiselta puolelta irti ja kiinnitetään muottiin. Tämän jälkeen muotin päälle laitetaan säkityskalvo SL 200. Tämä kalvo on kaksinkerroin olevaa joustavaa ja lämmönkestävää muovia. Kalvo on siis tehtaalta tullessaan kaksinkerroin, ja se pitää aukaista kahtia. Aukaisu onnistuu helpoiten laittamalla kaksi teippiä vastakkain jossain muovin nurkassa. Jos kalvo ei halkea, pitää kokeilla toista nurkkaa.

Kalvo painetaan löysästi muotin päälle ja asetellaan kolojen ja urien pohjalle. Tämän jälkeen ruvetaan kalvoa kiinnittämään teippiin kiinni. Tämä vaihe kannattaa tehdä siten, että aloittaa jostain nurkasta ja painaa toisella sormella muovia teippiä vasten ja samalla vetää teipistä irti suojapaperia toista sormeaa mukana liu'uttaen. Noin metrin välein kannattaa kalvoon tehdä niin kutsuttu "hiirenkorva".

Hiirenkorva tarkoittaa sitä, että laittaa tiivisteteipin päälle noin 100 mm:n pituisen pätkän tiivisteteippiä. Laittaa teipin kiinni vain toisesta päästä ja irrottaa toisen puolen suojapaperin ja vetää samalla muovin kiinni teippiin. Sitten irrottaa toisen puolen paperin ja kiinnittää muovin ja jatkaa muotin säkitystä. Tällaiset "hiirenkorvat" poistavat kiristyksiä säkityskalvosta ja niitä kannattaa tehdä varsinkin syvien urien ja kappaleen keskiosan kohdalle.

Kun koko muotti on kierretty ympäri, niin teippi pitää vielä painella tiukasti ympäriinsä kiinni muottiin. Tämän jälkeen voi tehdä reiän säkityskalvoon imujalkaa varten. Reikä kannattaa leikata ristiin ja siitä kannattaa tehdä vähän pienempi, kuin jalan halkaisija on. Imujalka vedetään kalvon läpi ja siihen laitetaan tiivistekumi paikoilleen, jonka jälkeen tulee väliholkki. Holkki ja kumi kiristetään tiukasti muottia vasten imujalan päälle tulevan mutterin avulla.

Holkin ollessa paikoillaan voidaan testata säkin ilmatiiviys, joka tapahtuu laittamalla pikaliitinletku kiinni imujalkaan ja alipainepumppu päälle. Jos paine nousee yli 0,9 barin, niin säkki on tiivis. Suuremmat vuodot alentavat heti alipaineen määrää ja vuodot ovat korvin kuultavissa. (Kuva 17.)



Kuva 17. Tiivis säkki alipaineistettuna, huomaa hiirenkorvat.

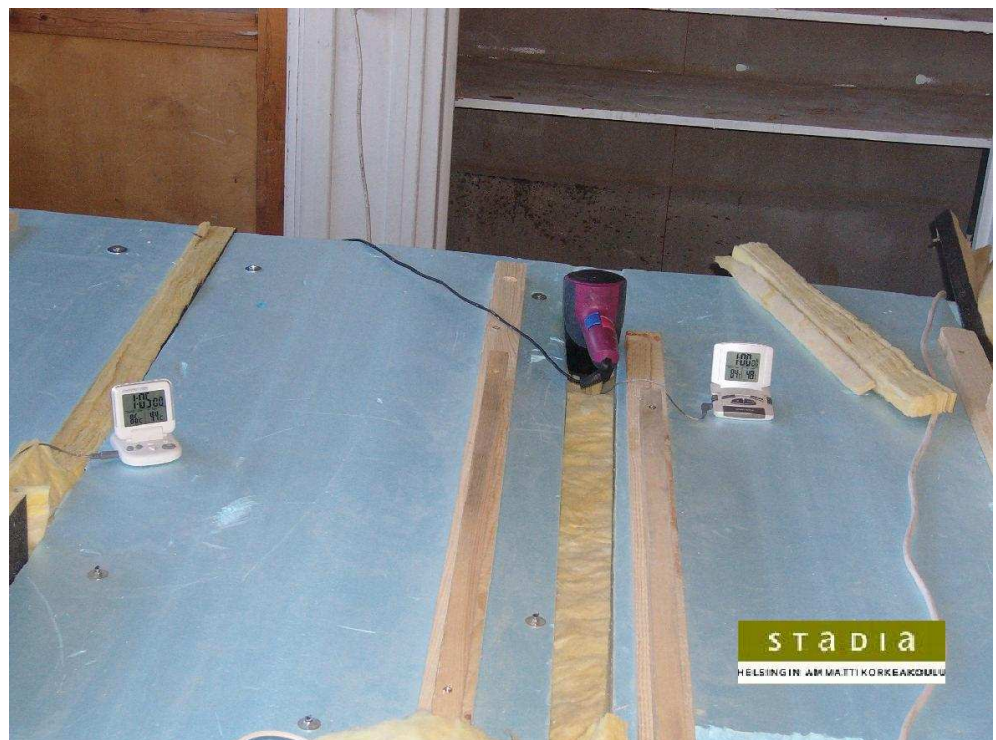
Pienemmät vuodot voi paikantaa pienellä letkun pätkällä, joka laitetaan korvaan ja kierretään kuuntelemassa kaikki saumat läpi. Vuodot ovat kuultavissa selvänä suhinana, ja ne voi paikata laittamalla lisää tiivisteteippiä tai painelemalla entisiä teippejä tiukemmin muottia vasten. Säkin ollessa tiivis, voi paketin nostaa uuniin kovetettavaksi.

6.1.2 Mallien uunitus

Tietokone ohjelmoidaan nostamaan lämpötila 2 °C min uutissa 85 °C ja pitämään lämpötila siellä 10 tuntia, jonka jälkeen lämmitys katkaistaan. Muotti nostetaan uunin sisälle ja 6 lämpötila-anturia asetellaan muotin pohjalle reunoille ja syviin koloihin. Samalla muotin ja uunin seinien välille laitetaan lämpövillalevyjä estämään lämmön pääsy muotin alle.

Tämän jälkeen nostetaan uunin kansilevyt paikoilleen ja laitetaan sähköjohdot kiinni. Katon läpi työnnetään vielä pari lämpötilamittaria mittaamaan lämpötiloja katon tuntumassa. Näitä mittareita ei ole kytketty tietokonejärjestelmään, vaan ne toimivat itsenäisesti. Ohjelma käynnistetään, ja kone alkaa nostaa lämpötilaa.

Samalla, kun lämpötila nousee, uunin saumoja kierretään läpi infrapunälämpötilamittarin kanssa ja löydetyt vuotokohdat tilkitään villalla. Jos jokin lämpötila-anturi näytti selvästi pienempiä arvoja kuin muut, niin se tarkoitti sitä, että ilma ei kiertänyt uunissa tarpeeksi tasaisesti. Kiertoa tehostamaan on mahdollista laittaa puhallin sekoittamaan ilmaa uunin sisällä. Tasainen lämpötila uunin sisällä varmistaa sen, että CBS-malli kovettuu joka kohdasta kunnolla. (Kuva 18.)



Kuva 18. Sprintin uunitus käynnissä, huomaa puhallin ja lämpötilamittarit.

Toisessa kyljessä huomattiin, että malli ei ollut kovettunut joka kohdasta kunnolla, mutta onneksi *Sprint* CBS ST 86 -kangasta voi kovettaa kuumailmapuhaltimella, lämmittämällä sitä vielä uunituksen jälkeenkin. Tämä tapahtuu puhaltamalla kuumaa 100 °C ilmaa *Sprint*-kankaisiin, jolloin lämpötilaa valvotaan lämpömittarilla. Lämpötila ei saisi nousta paljon yli 130 °C:een, koska tämän jälkeen *Sprint*-kangas rupeaa palamaan, haisemaan ja lopulta hartsi kiehuu kankaan läpi. Sopivalla lämmöllä kangas kuitenkin kovettuu uunituksen jälkeenkin oikeaan muotoonsa.

Koko uunituksen ajan lämpötiloja piti tarkkailla mahdollisten ohjelmaan tulleiden häiriöitten takia, sillä uunissa oli vastuksia, jotka liikaa kuumetessaan olisivat voineet sytyttää koko rakennuksen tuleen. Kun ohjelma oli ajanut itsensä loppuun, niin lämpötilan piti antaa laskea 40 °C:seen ennen kuin alipaineen sai sammuttaa. Nyt *Sprint* CBS ST 86 -kankaan sisällä ollut hartsi oli ensin sulanut lämpötilan nostovaiheessa ja imeytynyt hiilikuitukankaisiin ja kovettunut lopulliseen muotoonsa 10 tunnin uunituksen aikana.

6.1.3 Säkin purkaminen

Kun malli on saatu uunitettua, se pitää saada irti muotista. Ensiksi pitää purkaa säkki pois. Purkaminen tapahtuu käänteisessä järjestyksessä vetämällä säkityskalvo pois muotin päältä. Tämän jälkeen pitää ottaa pois imuhuopa ja reikäkalvo, joiden pitäisi lähteä vielä helposti irti. (Kuva 19.)



Kuva 19. Juuri uunista nostettu kovettunut kattomalli, kannattaa huomata imuhuopaan imeytynyt hartsi.

Karhennuskangas saattaa kuitenkin olla yllättävän tiukasti kiinni. Varsinkin kulmat ja jyrkät muodot voivat tarttua todella tiukasti *Sprint*-kankaan poimujen väliin. Helpoiten kankaan saa irti käyttämällä pihtejä apuna. Kangas rullataan pihtien ympärille, jolloin vetoon saa helposti lisää voimaa pihtien synnyttämän momentin takia. Sen jälkeen, kun karhennuskangas on saatu irti, pitää malli irrottaa muotista. Malli lähtee yleensä helpommin irti muotista kuin muotti mallista. Syynä tähän on se, että malli ei ole niin jäykkä, joten se joustaa vähän irrotessaan.

Valmiiden pintojen laatu oli tasaista. Vain jyrkissä kulmissa oli ongelmia saada *Sprint-kangas* painumaan jyrkkiin muotoihin. *Sprint-kangas* on kyllä tässäkin mielessä hyvää ainetta, sillä huonosti onnistuneen kohdan voi leikata pois mallista ja laittaa samaan kohtaan uuden kerroksen *Sprint-kangasta*. Kovetus tapahtuu normaalilla tavalla. Leikkaamalla pala pois on siis mahdollista korvata jostain isosta kappaleesta jokin kohta tekemällä siihen paikkapala ja kovettamalla kappale uudestaan, eikä kappaleen lujuus kärsi siitä yhtään. (Kuva 20.)



Kuva 20. Jyrkässä kulmassa *Sprint*-kankaaseen tullut pintavirhe.

6.1.4 *Sprintin* oikaisumenetelmä

Jotkut kappaleet olivat menneet vähän lommolle uunituksen aikana. Tämä johtui uretaanivaahdon uunituksen aikana aiheuttamasta muotin vääntämisestä, mikä peilaantui valmiiseen malliin. Vääntyminen huomattiin ensimmäisen kappaleen uunituksen jälkeen, kun kattoon oli tullut noin 1,5 cm syvä ja 50 cm pitkä lommo keskelle. (Kuva 21.)



Kuva 21. Kattomalliin uunituksen aikana tullut lommo.

Kattoa ruvettiin oikomaan seuraavanlaisilla menetelmillä: Ensin muotin ja puukehikon välistä kaivettiin lommon kohdalta uretaanivahto pois, jotta muotti pääsi oikeenemaan. Tämän jälkeen kattoa ruvettiin painamaan muottia vasten yläpuolelta kattoon painavan tunkin avulla. (Kuva 22.)



Kuva 22. Kattomallin montun oikaisua kattoa vasten puristavan saksitunkin avulla.

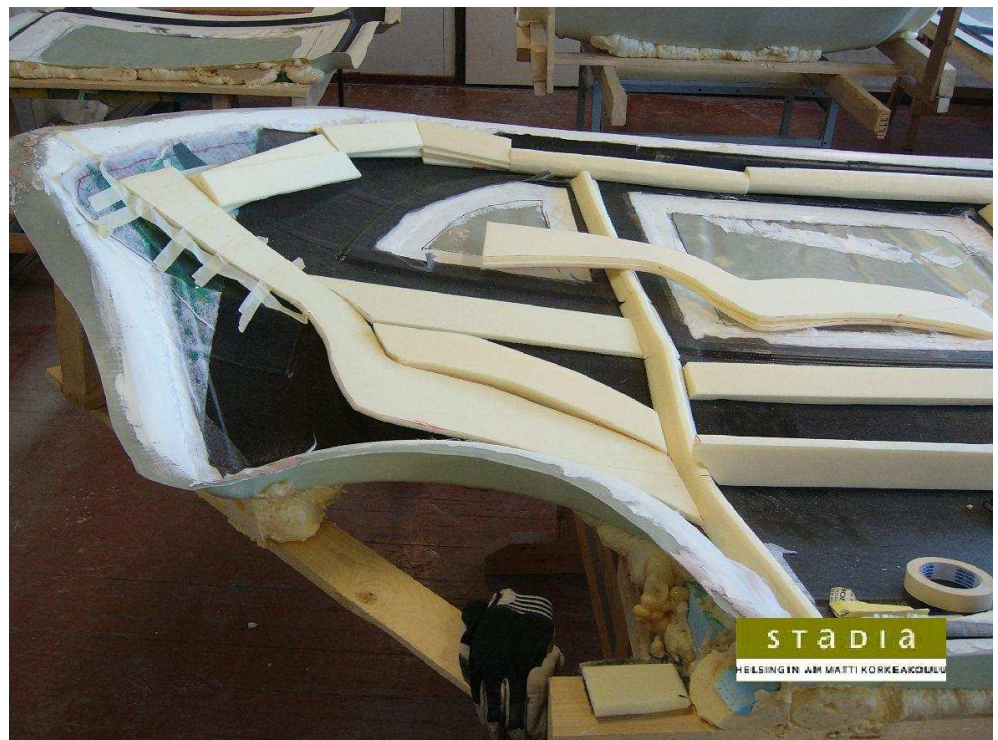
Samalla kun tunkki painoi kattopala muottia vasten suoraksi, kuumennettiin *Sprint-kangasta* taas kuumailmapuhaltimella. Kuumennuksessa käytettiin

vain suurempaa 115 °C:en lämpötilaa. Kattoa lämmitettiin puhaltimella tasaisesti puhaltaen 20 minuutin ajan, muotin ala- ja yläpuolelta. Kun puristus poistettiin, lommon syvyys oli enää noin puoli senttiä. *Sprint*-kangasta pystyy siis oikaisemaan jonkin verran kovetuksen jälkeen.

6.1.5 Corecellien paikoilleen asentaminen

Jotta ulkopinnoista saisi riittävän jäykkiä, piti niihin laittaa *Corecell*-vaahtoa muodostamaan palkkirakennetta. Suorilla pinnoilla käytettiin testeissä hyväksi havaittua menetelmää, mutta jyrkkiä ja kaarevia muotoja sisältävissä pinnoissa *corecellit* kiinnitettiin seoksella, johon oli sekoitettu hartsia, mikropalloja ja piituhkaaa.

Corecellit joutui ensin leikkelemään vastaamaan ulkopinnan muotoja ja liittämään ne sitten kiinni toisiinsa. *Corecell*-vaahdon saa paremmin taipumaan muotoihin, kun siihen ensin tekee mattopuukolla syviä viiltoja ristiin kaarevan pinnan puolelle. Jos muoto on kovera, tehdään viiltoja *Corecellin* ulkopintaa vasten tulevaan puoleen. (Kuva 23.)



Kuva 23. Corecellien asettelupalapeli käynnissä vasempaan kylkimalliin.

Kun *Corecellit* alkavat istua paikoilleen pienellä painamisella, niin ne liimataan toisiinsa mikropallotuhkaseoksella. Seos levitetään *Corecellien* väliin, minkä jälkeen ne painetaan tiukasti ulkopintojen muotojen päälle

pantavien painojen ja ruuvipuristimien avulla. *Corecellit* kuivuvat muotoonsa, jonka jälkeen reunat vielä viimeistellään.

Tämän jälkeen ne voidaan liimata samalla mikropallotuhkaseoksella ulkomuotoihin kiinni. Kun *Corecellit* on liimattu paikoilleensa, niin syvät kolot vielä täytetään mikropalloseoksella tasaisen pinnan aikaansaamiseksi. Tässä vaiheessa piti tehdä paikat myös ovien, penkkien ynnä muittenkin laitteiden kiinnitysalumiineille eli inserteille. Nämä insertit jätetään sisimmän *Sprint*-kankaan sisälle, jonka jälkeen niihin porataan reiät oikeaan kohtaan ja asennetaan Helicoil-kierteet. (Kuva 24.)



Kuva 24. Takaluukun lukon alumiini-insertin asennus takaluukun alaosaan.

Sprint-kangasta käytettiin sillä tavalla, että kantavissa ulkopinnoissa oli kaikkialla vähintäänkin 2 kerrosta *Sprint*-kangasta ja jäykistepalkkien kohdalla 2 + 2 kerrosta. Kattoon laitettiin jopa 3 + 3 kerrosta jäykkyyden varmistamiseksi. Säkitys ja uunitus tapahtui samalla tavalla kuin aikaisemminkin.

6.1.6 *Sprintin* leikkaus muotoonsa

Kun *Sprint*-kangasmallit oli saatu valmiiksi, ne piti sahata ja hioa muotoonsa. Sahaus tapahtui käyttämällä paineilmapistosahaa tai "vinkua", missä oli

timanttilaikka. Sahaus oli todella pölisevää hommaa, ja se vaatikin koko ajan toisen henkilön apua. (Kuva 25.)

Apulaisen tehtävä oli imeä syntyvää pölyä pölynimurilla. Hengitys- ja näkösuojaimen käyttö oli pakollista. Kun reunat oli leikattu lähelle leikkausviivoja, niin viimeiset millit otettiin pois epäkeskiohiomakoneella. Sen jälkeen oli mahdollista ruveta sovittelemaan kappaleita toisiinsa.



Kuva 25. Hiilikuidun leikkausviivalle sahaamista pistosahaa käyttäen.

6.2 Korin yhteenliittäminen

Kun kaikki viisi kantavan hiilikuitukorin osaa oli valmiita 4.5.2006, vain reilu pari kuukautta niiden valmistuksen aloittamisesta, oli mahdollista aloittaa osien liittäminen CityCabin lattiateräskehikkoon.

Auto tuotiin Ilomantsiin samana päivänä, kun viimeiset osat valmistuivat. Auton lattiakehikko tuotiin sisälle ja asetettiin samojen rautaisten I-palkkien päälle, joita oli käytetty mallien liimaamiseen.

Korin liimausta varten oli koululla hitsattu korin sisälle menevä teräskehikko, joka tulisi kannattelemaan kattoa liimauksen ajan. Teräskehikko laitettiin auton lattialle ja sen päälle laitettiin painoja, ettei se pääsisi liukumaan auton lattialla. Korin kasausta tapahtuu seuraavassa järjestyksessä:

- katto paikoilleen
- tuulilasin ja takalasin kehikot asetetaan paikoilleen ja liimataan toisiinsa
- molemmat kyljet liitetään kiinni lattiakehikkoon ja toisiin hiilikuituosiin
- liitosten varmistaminen hiilikuitukankaita käsinlaminoimalla.

Tässä vaiheessa otettiin käyttöön koulun hankkima 3D-mittavarsi, jolla voi mitata pisteiden paikkoja avaruudessa ja tarkastaa pisteiden sijainnin tietokoneen näytöltä, jolle on ensin syötetty CityCabin ulkopintojen paikkatiedot Catia kuvasta. (Kuva 26.)



Kuva 26. Mittavarren kalibrointi keskelle auton lattiaa.

Mittavarressa on kolme nappia, joista voi ohjata erilaisia toimintoja. Mittavarrella voi mitata eri etäisyyksiä sekä piirtää viivoja. Jotta mittavarresta olisi apua, pitää se ensin kalibroida, että tietokone tietäisi sen sijainnin. Kalibrointia varten CityCabin alumiinihunajakennolattiaan porattiin pieniä 1 mm:n reikiä sellaisiin kohtiin, joiden sijainnista oltiin varmoja, että ne olivat samassa kohdassa, missä Catian kuvatiedostossakin.

Kalibrointiin tarvitaan kolme pistettä, joiden sijainti pitää tietää ensin koneella, että vastaavat pisteet voidaan antaa mittavarrella. Kun mittavarsi on saatu kalibroitu johonkin auton kohtaan, voidaan sijoittaa ensimmäinen pala paikoilleen.

Kattopala nostetaan teräskehikon päälle ja säädetään oikeaan kohtaan puupalojen ja mittavarren avulla. Kattopala ruuvataan liimapuristimilla tiukasti teräskehikkoon kiinni, jonka jälkeen voidaan aloittaa muiden kappaleiden sovitusta. Kattopala on teräskehikkoon kiinni puristettuna niin pitkään, kunnes koko kori on liitetty yhteen.

Osien liittäminen toisiinsa aloitettiin tuulilasista. Tuulilasipala laitettiin kattopalan päälle ja heti huomattiin, että tuulilasin alareunasta joudutaan leikkaamaan pois. Pikkuhiljaa poistettiin hiilikuitupaloja tuulilasista, ja se saatiin lopulta oikeaan kulmaan Catia-kuvaan verrattuna.

Perän sovitusta vaati vastaavanlaisia toimenpiteitä kun tuulilasikin, mutta perä osa meni paikoilleen aika helposti. Kun tuulilasi ja perä oli haettu oikeille paikoilleen mittavarren avulla, niin ne puristettiin kiinni kattoon.

Mittapisteinä käytettiin tuuli- ja takalasin ikkuna-aukkojen teräviä sisäreunoja. Puristuksen aikana porattiin yläsaumoihin 3 mm:n reiät pikakiinnikkeille, jotka tulisivat toimimaan kohdistusreikinä, kun liima on levitetty mallien väliin.

Pikakiinnikkeet jouduttiin käsittelemään irrotusaineella ennen niiden käyttöä. Puristimet irrotettiin tuulilasista ja perästä, mutta kattopala oli edelleen tiukasti paikoilleen puristettuna.

Liimapinnat hiottiin 80-karheuksisella hiomapaperilla ja puhdistettiin asetonilla niin kuin testissäkin. Tämän jälkeen levitettiin reilusti liimaa saumojen väliin testistä opittua tietoa hyväksi käyttäen. Osat laitettiin takaisin paikoilleen ja pikakiinnikkeet kiinni. Tämän jälkeen puristusta vielä lisättiin laittamalla pieniä liimapuristimia sauman päälle. Tämä kaksikomponenttiliima kuivuu huoneenlämmössäkin, mutta kuivumista saadaan nopeutettua nostamalla lämpötilaa.

Korin päälle laitettiin rakennusmuovia ja sisälle pari isoa lämpöpatteria ja auton sisätilan lämmittimiä kierrättämään ilmaa auton sisällä. Tällä

menetelmällä saatiin ilman lämpötila nostettua katon tuntumassa noin 60 °C, mikä riittää liiman kuivattamiseen yön aikana. (Kuva 27.)

Tämä ensimmäinen liimausvaihe oli todella tärkeä korin onnistumisen kannalta, sillä jos palat olisivat väärässä kohtaa vain 10 mm:n verran, niin se tulisi vaikeuttamaan kylkien sovittusta paikoilleen todella paljon.



Kuva 27. Korin liimaussaumot kuivumassa rakennusmuovin alla, huomaa lämpöpatterit.

6.2.1 Kylkien liittäminen muuhun koriin

Kun auton keskiosa oli aseteltu ja liimattu paikoilleen, niin oli mahdollista alkaa sovittaa kylkiä muuhun koriin. Kylkien paikalleen saanti vaatikin jo sitten paljon enemmän hionta- ja jysintätyötä kuin muut osat yhteensä. Ensimmäisellä sovituksella vasen kylkipala jäi noin 10 sentin päähän oikeasta paikastaan.

Kylki otti eniten kiinni edestä sekä takaa juuri niistä kohdista, mistä kylki tultaisiin kiinnittämään runkoon kiinni. Tässä ei auttanut muu kuin ruveta hiomaan ja jysimään paineilmaporalla kylkipalaan tilaa runkopalkkeille ja kiinnikkeille.

Pikkuhiljaa kylkipala liikkui lähemmäksi oikeaa paikkaansa ja samalla ruvettiin jysimisen kanssa olemaan yhä varovaisempia, koska sillä ei haluttu

turhaan heikentää korin jäykkyyttä ottamalla liikaa tavaraa pois kiinnikkeiden kohdalta. Välillä poistettiin tavaraa rungosta ja välillä korista, mutta lopulta vasen kylkipala oli oikeassa kohdassa, jolloin katto ja kylki tuntuivat istuvan toisiinsa todella hyvin. Kylkeen porattiin taas kohdistusreikiä liimausta varten.

Seuraavaksi oli vuorossa oikea kylki, joka istui aluksi ihan yhtä huonosti kuin toinenkin puoli. Toisesta puolesta viisastuneena tiedettiin aika tarkkaan, mitä jouduttaisiin poistamaan mistäkin, koska toinen puoli on käytännössä toisen peilikuva, joten oikean puolen paikoilleen saanti olikin jo paljon nopeampaa, mutta silti erittäin työlästä.

Molemmat kyljet puristettiin kiinni koriin ja porattiin kohdistusreikiä noin 40 cm:n välein. Liimapinnat karhennettiin ja puhdistettiin. Ennen kylkien liimaamista piti laittaa vielä etuosan sivukiinnityksen alumiiniprofiilit paikoilleen. Nämä profiilit olivat paikoillaan säädettävää mallia oikean kohdan varmistamiseksi, ja ne lukittiin oikeaan kohtaan niittaamalla profiili kiinni etupoikkipalkkien läpi. (Kuva 28.)



Kuva 28. Vasemman kyljen paikoilleen sovitus ja reikien poraus käynnissä.

Molemmat kyljet liimattiin kiinni samaan aikaan ajan säästämiseksi. Sivukylkien liimaaminen olikin haastava operaatio, koska palat eivät

sopineet kunnolla toisiinsa, eli käytännössä saumojen liimarako ei ollut tasainen. Eniten ongelmia tuottivat kaikki ne nurkat, joita oli mallivaiheessa pyöristelty hiomalla käsin. Nurkkia oli yritetty pyöristää 10 mm:n säteellä, niin siinä ei oltu täysin onnistuttu, eivätkä osat istuneet toisiinsa täydellisesti.

Liimaamisessa oli otettava myös huomioon, että niiden kohtien väliin oli laitettava lasikuitukangasta, missä teräs ja hiilikuitu koskivat toisiaan. Tällä tavoin välttää sähköisenparin muodostumiselta teräksen ja hiilikuidun välille. Taas laitettiin ensin pikakiinnikkeet paikoilleen, jonka jälkeen lisättiin tarvittava määrä liimapuristimia ja jätettiin kori yöksi liimaantumaan.

Aamulla puristimet ja kiinnikkeet poistettiin, minkä jälkeen oli turvallista leikata osiin korin sisällä tukemassa ollut rautakehikko. Kun kori oli liimattu runkoon kiinni, mitattiin mittavarrella, miten lähelle oikeita mittoja kantava hiilikuitukori oli asennettu.

Mittavarsi kalibroitiin taas omalle paikalleen keskelle autoa ja ruvettiin mittailemaan eri pisteitä ympäri autoa. Kaikkien suureksi yllätykseksi kaikki palat oli saatu noin 5 mm:n sisään oikeasta paikastaan. Tätä voidaan pitää ilmiömäisenä suorituksena ottaen huomioon, missä kiireessä hiilikuitukori oli tehty ja minkälaisia välineitä sen valmistamisessa oli käytetty. Kyseessä oli kuitenkin Stadiassa valmistettu ensimmäinen prototyyppi, johon tuli täysin itsekantava hiilikuitukori.

6.2.2 Korin liittäminen runkoon

Korin ja kiinnikkeiden välit täytettiin hartsi-pallooniseoksella. Auton takaosassa hiilikuitukori tuli kiinni teräskehikkoon kahdesta kohtaa per puoli. Kiinnikkeet ovat siis takaluukun alaosassa sivuilla ja pyöräkoteloiden keskellä. Nämä kiinnikkeet ovat neliönmuotoisia suurlujuuslevyjä, jotka on laminoitu kiinni hiilikuitukoriin neljällä hiilikuitukankaalla ja alin kerros oli lasikuitua. Lisäksi tasalattian kohdalta hiilikuitukori on laminoitu kiinni alumiinahunajakennolevyyn. (Kuva 29.)



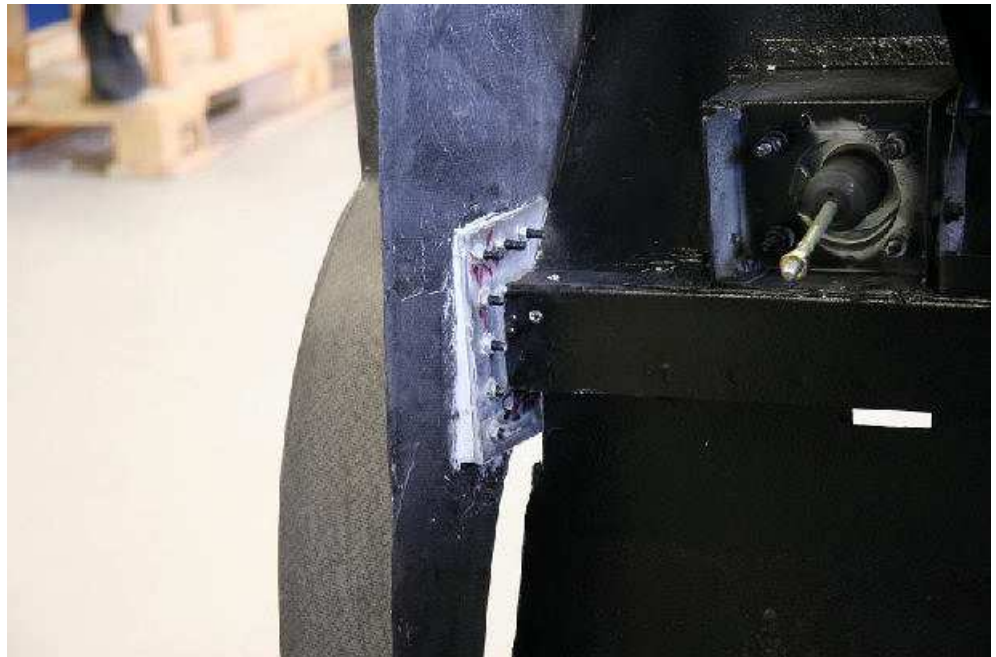
Kuva 29. Korin kiinnityspisteitä runkoon näkyvissä.

B-pilareista kantava hiilikuitukori on pultattu neljällä pultilla kiinni auton poikki kulkevaan suurlujuusteräksestä tehtyyn väliseinään, joka on kiinnitetty läpipulteilla lattian läpi runkoon. Alumiini-insertteihin on ensin kiinnitetty kierreniitit tai sitten Helicoil-kierteet, vähän paikasta riippuen, kumpi on ollut järkevämpi valinta. (Kuva 30.)



Kuva 30. B-pilarin vetomutterit kuvassa, huomaa takaa paistava väliseinä.

Edestä kori on kiinnitetty kiinteästi runkoon poikkipalkin päihin tulevilla alumiinikiinnikkeillä, jotka on niitattu kiinni poikkipalkkiin. Alumiinikiinnikkeen väliin on puristettu hiilikuitukori pulttiliitoksella ja liimana välissä on hartsimikropallonia. A-pilarin alapäästä kori on laminoitu kiinni teräsrunkoon neljällä kerroksella hiilikuitukangasta. Tuulilasin alareuna on myös laminoitu kiinni runkoon koko matkaltaan. (Kuva 31.)



Kuva 31. Etupoikkipalkin kiinnitys koriin.

6.2.3 Korin liitoskohtien jäykistys

Vaikkakin saumojen väliin laitetun liiman pitäisi jaksaa pitää kantava hiilikuitukori kasassa, niin silti kaikki saumat vahvistettiin vielä käsin laminoimalla vähintään kolme kerrosta hiilikuitukangasta. Lisäksi kaikkien *Corecell*-palkkien välit täytettiin hiilikuitumikropalloni-hartsiseoksella, palkkien yhtenäisyyden varmistamiseksi. Seoksen kuivuttua sen päälle laminoitiin vielä kolme kerrosta hiilikuitukangasta. Kun kaikki liitokset oli varmistettu, niin kantava hiilikuitukori oli valmis, ja auto lastattiin kuorma-autoon ja kuljetettiin takaisin koululle.

6.3 Luukkujen valmistus

Korin rakentamisessa käytetty *Sprint* CBS ST 86 -kangas loppui kesken. Saman *Sprintin* tilausajaksi ilmoitettiin Kevralta kolme kuukautta, joten oli

otettava toista *Sprint*-kangasta. Tilattiin erä ST 95 *Sprint*-kangasta, jonka piti olla vastaavaa kuin ST 86.

Tässä *Sprint*issä kuidut on punottu 45 asteen kulmaan suhteessa toisiinsa ja kuitujen välissä on noin millin paksut välit. Tätä *Sprint*-kangasta testattiin ensin yhdellä kerroksella lokasuojien muottiin. Kun paketti aukaistiin, malli potkaisi itsensä irti muotista.

Sprint-kangas veti siis itsensä vähän mutkalle ja pinnan laatu oli kuin siihen olisi ammuttu haulikolla. Tämän *Sprintin* päälle laitettiin toinen kerros samanlaista *Sprint*-kangasta ja paketti laitettiin uuniin kovettumaan. Valmis *Sprint*-kangas oli oiennut vähän edellisestä uunituksesta ja reiät olivat vähentyneet, joten päätettiin tehdä loputkin ulkopinnat tätä ST 95 -kangasta käyttäen.

Konepeltiin laitettiin kuitenkin myös SF 95 -kangasta yhden kerroksen alle ja kaksi ST 86 -kangasta päälle. Poikkeava menettely johtui siitä, että kahdella ST 86 -kankaalla tehty malli veti itsensä ihan kippuraan. Yhdellä SF 95 kerroksella varustetusta pinnasta tuli vähän parempi, mutta ei missään nimessä suora.

Luukkujen sisäpinnat valmistettiin käsin laminoimalla viisi kerrosta lasikuitukangasta muottiin ilman *gelcoatia*. Luotettiin siihen, että jäykät sisäpinnat jaksaisivat oikaista vähän kierossa olevat ulkopinnat. Sisäpinnat liimattiin toisiinsa katkolasikuitumikropallooni-hartsikerroksen avulla, mallien ollessa ruuvattuna ulkopinnan muottiin kiinni. Ovien yläkarmit täytettiin samalla seoksella jäykkyyden lisäämiseksi. Tämä tekniikka toimi, ja hartsin kuivumisen jälkeen luukut istuivat muotin pohjalle ongelmitta.

6.3.1 Luukkujen ja puskureiden kiinnitys koriin

Kun kaikki osat olivat valmiita, ne piti kiinnittää koriin. Ensiksi piti hioa osat oikeisiin mittoihinsa leikkausviivojen toimiessa suunnannäyttäjinä. Hiottaessa täytyi olla erittäin varovainen, ettei osista otettu liikaa pois, koska ei ollut aikaa eikä tarvikkeita valmistaa uusia osia tilalle. Pikkuhiljaa osat rupesivat sopimaan paikoilleen.

Osien ollessa lähellä oikeaa paikkaa oli mahdollista sovittaa kiinnikkeet paikoilleen ja kiinni osiin. Puskureissa tämä tarkoitti sitä, että piti tehdä

kaikenmuotoisia rautoja, jotka olisivat pulteilla kiinni korissa. Etupuskuria kiinnitettäessä myös huomattiin, että moottorikehikon kanssa tulisi olemaan ongelmia lamppuja asennettaessa. Kun luukut oli kiinnitetty saranoihin, voitiin ovet lopulta hioa hyvin istuviksi ja viimeistellä raot tasaisiksi toisiinsa nähden. (Kuva 32.)



Kuva 32. Auto Colornetin pihalla menossa maalaukseen.

Luukut saatiin soviteltua kiinni autoon, ja auto lähti maalaukseen. Maalauksessa auton konepelti rupesi vääntymään, ja maalarit joutuivat kittaamaan sen kolmeen kertaa suoraksi, kun jokaisen uunituksen jälkeen konepelti oli vääntynyt kieroksi.

6.3.2 Sivuovi-systeemin muuttaminen.

Liukuvaa sivuovi järjestelmää sovitettaessa huomattiin, että se oli todella monimutkainen asennettava. Myöhemmin ongelmat oven kanssa vain lisääntyivät, kun yritettiin saada sähköistä ohjausta toimimaan. Ongelmia oli melkein kaikissa oven vaijereissa, linkuissa ja releissä.

Ovea ei saatukaan toimimaan luotettavasti Pariisin autonäyttelyssä, eikä sen jälkeenkään eli päätettiin, että oven toimintaa jouduttaisiin muuttamaan. Ruvettiin taas miettimään mahdollisia oviratkaisuja, ja hyvin nopeasti

päädyttiin käyttämään busseista tuttua kahtia aukeavaa oviratkaisua. Päätökseen vaikuttivat, että järjestelmä oli jo luotettavasti käytössä busseissa ja toiseksi meillä oli jo paineilmajärjestelmä, josta saatiin otettua ohjauspaine oviin.

Samalla päätettiin, että kokeiltaisiin tehdä ovien muotit suoraan MDF levyihin, koska tekniikkaa oli jo onnistuneesti kokeiltu valoumpioiden valmistuksessa. Ovet mallinnettiin taas Catialla, ja lujuuslaskenta tehtiin Algorilla. Kun kuvat alkoivat olla valmistusvalmiita, niin ne lähetettiin taas Hannu Paajaselle, joka jynsi valmiit kappaleet pajallaan.

Muotteja ruvettiin viimeistelemään koululla, jonne rakennettiin Lemmetyisen avulla uuni kasaan. MDF-muotit olivat helppoa hioa, mutta osa kerroksista ei kestänyt kasassa, vaan liima petti joistakin kohdista. Tämä aiheutti taas lisätyötä, mutta tilanne ei ollut niin paha kuin kylkimuotteja hiottaessa. Käytettäessä liimattuja MDF-muotteja liiman kanssa ei kannata säästellä ja levyt pitää puristaa riittävän monella puristimella vastakkain. Nyt valmistetuissa muoteissa oli joidenkin levyjen välissä melkein millin paksuja ilmarakoja.

Seuraavaksi muotit maalattiin Inerta maaleilla, sen jälkeen ne olivat valmiita uunittavaksi. Levitettiin irrotusaine, minkä jälkeen kappaleet säkitettiin ja uunitettiin. Seuraavaksi mallia yritettiin irroittaa muotista, mutta se oli jämähtänyt totaalisesti kiinni. Aikaisemmin toimineet irrotusmenelmät eivät toimineet, vaan jouduttiin siirtymään raskaampiin työkaluihin, eli otettiin käyttöön lekat, taltat ja jopa moottorisahaa jouduttiin käyttämään muotin hajottamiseen. (Kuva 33.)



Kuva 33. Muotin hajottamista voimakeinoin.

7 ST 86-KANKAAN KÄYTTÖKOKEMUKSET

Kangasta oli todella helppo käsitellä ja työn teko oli nopeaa, koska hartsi oli jo valmiiksi imeytetty ST 86 -kankaan sisälle. Tämän takia *Sprint*-hiilikuidun kanssa työskentely oli myös siistiä puuhaa verrattuna käsin laminointiin.

Kangas piti leikata vain oikean kokoiseksi; terävillä saksilla kaarevat muodot ja koukkukärkisellä mattopuukolla suuremmat leikkaukset. Kun kangas oli leikattu, se piti vain painella muottia vasten. Tämäkin onnistui helposti, koska kangas oli juuri sopivan tahmeaa tarttuakseen muottiin ja taipuisaa jyrkkiin muotoihin.

ST 86 -kangas oli lisäksi todella riittoisaa. Kangasta meni vain vähän hukkaan, koska sen sai leikattua muotissa ollessaan oikean kokoiseksi. Leikatut palat oli mahdollista liittää toisiinsa laittamalla kankaat noin sentin verran päällekkäin.

Arvioitiin, että hukkaprosentti oli noin 10 - 15 prosentin luokkaa, kun se normaalissa märkälaminoinnissa on noin 30 - 40 %. Lisäksi säästetään työvälineiden määrässä, kun ei tarvitse ostaa pensseleitä, teloja, suojamuovia, hartsiastioita ja kertakäyttökäsineitä, joista tulee aika suuri kustannuserä.

Eniten *Sprintin* käyttö tuo kuitenkin säästöjä työajassa, kun työn määrä on kuitenkin suurin menoerä suhteutettuna valmistuksen kokonaiskustannuksiin. Lisäksi työn jälki on paljon tasaisempaa ja parempaa, koska ST 86 -kankaan muottiin asettelu ei ole niin paljon taitoa vaativaa työtä kuin märkälaminointi.

ST 95 -kankaalla pitäisi tehdä lisätestejä toiminnan parantamiseksi. Pintakangas SF 95:tä voi suositella pienin varauksin käytettäväksi joissain paikoissa, missä ei ole jyrkkiä muotoja.

8 KANTAVAN HIILIKUITUKORIN VALMISTUSKUSTANNUKSET

Kustannukset on laskettu siten, että materiaalien käytöstä ja tunneista pidettiin tarkkaa kirjanpitoa hiilikuitukorin rakennuksen ajan. Kulutuksen perusteella on laskettu Kevra Oy:ltä saatujen tuotteiden hintojen pohjalta kokonaiskustannukset korin valmistamista varten. [2]

Taulukko 1. Kantavan hiilikuitukorin muottikustannukset.

Materiaali	Kulutus	Hinta €	Hinta €/m ²	Korin p-ala m ²	Yhteensä €
Mallin valmistus			1 000,0	20	20 000
Käyttömateriaali			100,0	20	2 000
Irrotusaine	0,1l/ m ²	30,0 €/l	3,0	20	60
SP 127 gelcoat	0,5kg/ m ²	22,3 €/kg	11,0	20	220
Rutapox-harts +kovete	2,0 kg/ m ²	39,0 €/kg	78,0	20	1 560
Lasikuitukangas	6,0 kerrosta	6,2 €/m ²	37,2	20	744
Yhteensä €			1 229,2	20	24 584

Kantavan hiilikuitukorin muottien raaka-ainekustannuksien kokonaissummaksi tuli noin 25 000 euroa. Tämä on laskettu siten, että

materiaalien hukkaprosentti on 40. Mallin valmistus pitää sisällään pastan, styroksin ja maalien hinnat.

Käyttömateriaalit koostuvat kaikista pikkuasioista, joita tarvitaan muottien valmistuksessa. Tällaisia materiaaleja ovat telat, pensselit, kertakäyttöhanskat, puumateriaali, uretaanivaahdot jne. Käyttömateriaalien kustannuserä onkin toiseksi suurin kuluerä materiaalipuolella, eli vaikka pensseleitä ja muita laminointivälineitä ei kulu kerralla paljoa, tulee niistä loppujen lopuksi toiseksi suurin kuluerä, jos palkkoja ei oteta huomioon. Työtunteja muottien tekoon kului keskimäärin 70 mth/m². (Taulukko 1.)

Kantavan hiilikuitukorin materiaalikustannukset jäävät paljon alhaisemmaksi kuin niihin tarvittavien muottien valmistuskustannukset. Työtä kului *Sprintin* valmistukseen 3 mth/m², eli valmistus on paljon nopeampaa kuin käsin laminointi. Mallin valmistuksessa joutuu *Sprintin* uunitamaan moneen kertaan, mikä hidastaa kappaleiden valmistusta.

Taulukko 2. Kantavan hiilikuitukorin materiaalikustannukset.

Tuote	Hinta €/m ²	Määrä, m ²	Yhteensä €
Irrotusaine	3,00	40	120,00
Karhennuskangas	2,25	60	135,00
Reikämuovi	1,45	60	87,00
Ilmanjohtohuopa	1,95	60	114,00
Säkityskalvo	2,32	60	139,20
Tiivisteteippi	2,00	60	120,00
Corecell	30,00	30	900,00
Sprint CBS	100,00	30	3 000,00
Yhteensä €	142,97	400	4615,20

CityCabin kantavan hiilikuitukorin valmistukseen käytettiin yhteensä noin 1500 mth, joista opettajien osuus oli 978 mth. Miestyötunneille ei ole lähdetty laskemaan hintoja, mutta jokainen voi laskea, mitä korin rakentaminen on tullut maksamaan. (Taulukko 2.)

Citycabin valmistukseen on laskettu kuluneen noin 30 000 mth, mikä on aivan käsittämättömän suuri työ määrä ja tässä määrässä on vasta opiskelijoiden tekemät työtunnit. Alihankkijat ja sponsorit ovat vielä lisäksi tehneet suuren määrän työtä projektin eteen.

9 YHTEENVETO KANTAVAN HIILIKUITUKORIN RAKENTAMISESTA

Kuluneen korin rakennusprojektin aikana on opittu käsittelemään *Sprint* CBS -hiilikuitukangasta ja todettiin sen olevan todella hyvin soveltuvaa piensarjavalmistukseen. CBS-kankaan vahvoja puolia ovat tasalaatuinen pinta, helppo käsiteltävyys, nopeat valmistusajat ja hyvät rakenne-ominaisuudet. Huonoja puolia on korkea hinta.

Osa pastamalleista oli todella hidasta viimeistellä kolojen takia, mutta kaikista saatiin otettua muotit särkemättä mallia, mikä oli hyvä asia. Muottien tekemisessä kului aikaa paljon enemmän kuin mitä oli suunniteltu, koska jouduttiin käyttämään SP 127 -*gelcoatia* testausajan puutteen vuoksi. Kun muotit oli saatu tehtyä, niin kaikki sujui oikeastaan ilman suurempia ongelmia.

Unituksissa *Sprint-kankaisiin* tulleet lommotkin saatiin oikaistua kohtuullisen hyvin. Korin yhteen liittäminen onnistui paremmin kuin kukaan oli osannut edes odottaa. Suurena apuna oli oikeisiin mittoihin jyrityt muotit, jotka mahdollistivat kylkimuotojen sopimisen toisiin malleihin. Ongelmia tuottivat käsin hiotut pyöritykset, jotka haittasivat osien istuvuutta.

Ilman 3-D-mittavartta hiilikuitukorin kasaaminen paikallensa olisi ollut melkein mahdoton tehtävä. Lisäksi lattiateräskelikon tarkka mitoitus rakennusvaiheessa varmisti korin sopimisen auton rungon päälle. Korin rakentamisprosessissa on hiomista oikeastaan työmäärän vähentämisessä ja koripintojen toisiinsa liittämiprosessissa. Jatkossa sisäpintojen laatuun tulee myös kiinnittää enemmän huomiota. Tämä helpottaa sisustan paneeleissa tehtävään sovitustyötä ratkaisevasti.

Työmäärän vähentäminen tapahtuu helpoiten jyrsimällä kappaleen ulkomuodot suoraa muottiin, mutta tätä tekniikkaa täytyy kuitenkin tutkia lisää. Vaatimukset kuitenkin kasvavat, kun ruvetaan tekemään kuumankestäviä muotteja.

Muotin suoraan jyrsiminen leikkaisi myös todella paljon valmistus kustannuksia niin työmäärän kuin materiaalienkin osalta, sillä yksi kallein rakennusvaihe jää kokonaan pois. Puumuottitekniikka tuntui toimivan pienemmissä osissa todella hyvin MDF:llä, mutta isommissa todella huonosti.

Koripintojen toisiinsa liittämiseen tulisi jatkossa kiinnittää enemmän huomiointia jo korin suunnitteluvaiheessa. Erilaisia paneeleiden liittämistekniikoita tulisi tutkia lisää ja etsiä sellainen tapa, joka toimii varmasti ja luotettavasti. Jatkossa myös liitosten vahvistamisen voidaan suorittaa käyttämällä *Sprint*-kangasta, kun liitokset suunnitellaan oikein.

Liitoksien tulee olla sellaisia, että paneeleissa on jotain kohdistusnastoja, jotka ohjaavat paneelit toisiinsa juuri oikeaan kohtaan. Liimapintojen tulee olla riittävän leveitä ja tukevia, että saumoihin tulevat rasitukset saadaan matalammiksi ja tasaisemmiksi. Jatkossa myös hiilikuitujen kuitusuunnat tulisi ottaa jo korin mitoitusvaiheessa huomioon. Näin varmistetaan korin maksimaalinen jäykkyys, suhteessa painoon.

Vaikka CityCabin kantavan hiilikuitukorin valmistus on vaatinut paljon työtä ja rahaa, niin voidaan jo tässä vaiheessa sanoa, että se työ ei ole mennyt hukkaan. CityCabistä on tullut täysin toimiva konseptiauto, jonka viimeistelytaso ei jätä ketään kylmäksi.

CityCab on erilainen auto muihin autoihin verrattuna ja se herättää kaikissa ihmisissä jonkinlaisia tunteita. Autosta löytyy uusinta teknologiaa ja todella hienoja yksityiskohtia, jotka on rakennettu ja suunniteltu Suomessa. Tästä asiasta pitää olla ylpeitä. Parhaan tyydytyksen kovalle työlle saakin, kun katselee ihmisten nauravia naamoja ja hämmästyneitä ilmeitä, kun he näkevät auton ensimmäistä kertaa. (Kuva 34.)



Kuva 34. Citycab ajossa Saksassa syksyllä 2007.

LÄHTEET

- [1] SP-Systems, tuotteiden käyttöohjeet ja tuoteselosteet [verkkodokumentti, viitattu 5.3.06]. Saatavissa http://www.gurit.com/index_en.htm.
- [2] Kevra Oy, tuotteiden hintatiedot [verkkodokumentti, viitattu 7.1.07]. Saatavissa <http://www.kevra.fi>.



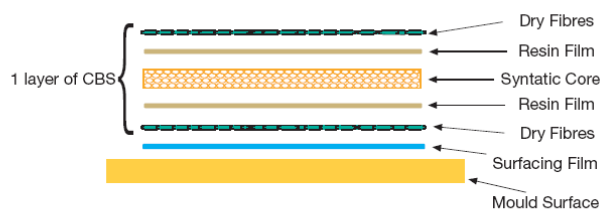
CBS ST86

SPRINT® CBS

- Lightweight (up to 80% lighter than steel of equivalent stiffness)
- High Stiffness
- Fast cure - 30 minutes at 130°C
- Excellent drape and handling
- Fast lay-up times

Introduction

The patent-approved SPRINT® CBS ST86, multi layered moulding material using epoxy resin and continuous fibre reinforcement containing an integral syntactic core and optional surface finishing ply. CBS 86 is a rapid cure system with either 1 hour at 120°C or 30 minutes at 130°C.



Cross-section of 1 ply of SPRINT® CBS

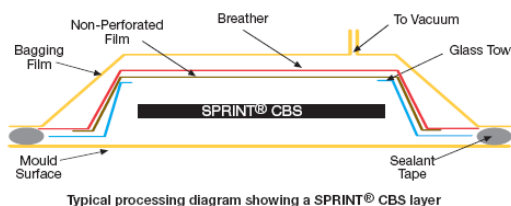
Typical End Use Applications

SPRINT® CBS ST86 is foreseen to be used alongside SF 95 in the making of body and closure panels for automotive applications and other similar panel mouldings. The 'single hit' moulding material will yield a panel at various thicknesses (see Component Properties). Once the prescribed curing procedure has been observed, the panel is ready for keying up before the application of a conventional paint system to give a class 'A' finish, when combined with SF 95 and appropriate DuPont™ Paint System. Contact Gurit for further information. The material has been designed for simple vacuum bag processing.

Instructions for Use

It is important to take care unrolling the material to avoid wrinkling or creasing the product.

1. Place the required number of plies of SPRINT® CBS on a tool or caul sheet which has been treated with a release agent or film. Surface film can be added prior to placement of SPRINT® - see Spec Sheet. Insert a thermocouple into the lay-up outside the net trim line. If required a second surface film can be applied on the back of the CBS to give a balanced and symmetrical laminate.
2. If required apply a peel ply, pre-impregnated or dry, over the top of the laminate stack. Note that for good secondary bonding of a peel-ply surface of a CBS laminate, a nylon peel ply such as Gurit / Tygavac Stitch Ply A, is strongly recommended. Insert high tex glass strands at an interval of 0.5m on the perimeter of the tool on the front and back of the laminate lead them out so that they will protrude from underneath the next layer in the vacuum stack, the non perforated release film and contact the breather material. Cover the peel ply entirely with a non-perforated release film such as Gurit / Tygavac WL 4100 or equivalent. Cover the non-perforated release film with breather material such, Gurit / Tygavac Econoweave 44V or equivalent, so that it extends over the release film in all directions and contacts the dry glass strands (see diagram below).



3. Install a vacuum bag by standard techniques. Insert at least two vacuum stems through the bag connecting one to the vacuum source and the other, at a point on the part furthest from the source, to a calibrated vacuum gauge. Position part in the oven and draw vacuum to check for bag or system leaks.

PLEASE NOTE: Further advice can be found in the SPRINT® Processing Notes.

4. Cure the laminate in accordance with the specification given later in this data sheet.

Cure Envelope

SPRINT® CBS ST86 has a relatively flexible cure envelope. The minimum cure is 120°C for 1 hour and a quick cure is 130°C for 30 minutes.

SPRINT® CBS works by first applying a vacuum to the laminate stack to remove all air. It is recommended that an ambient vacuum is applied prior to cure, to fully evacuate the laminate stack. This should be up to 5 minutes, depending upon the size and thickness of the component. The temperature is increased so that the matrix resin rapidly reduces in viscosity and wets the evacuated reinforcement within the laminate. The temperature is then increased to cause the matrix resin to cross link and is held until the cross linking process is complete. Once this is achieved the temperature is reduced under natural cooling whilst maintaining a vacuum until a maximum of 40°C is reached.

Curing Schedule

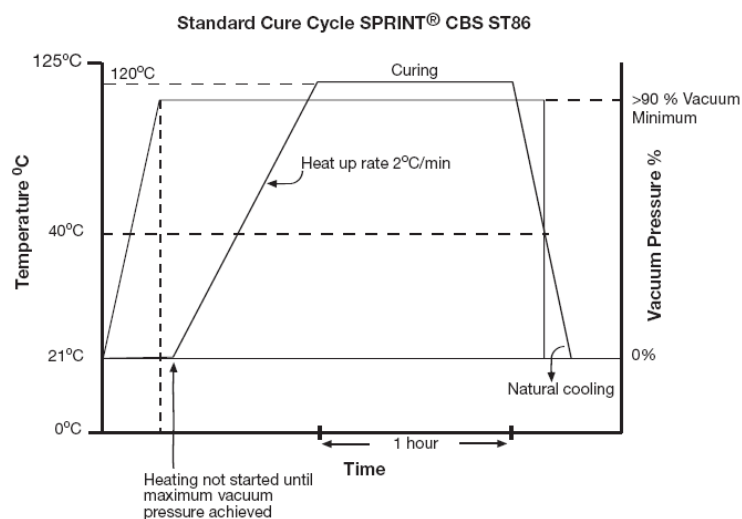
Typical Cure Profiles

The successful use of these cure schedule will depend on part size and laminate construction. Heat up rate and dwell periods need to be tailored to take consideration of oven capacity, thermal mass of tool, laminate construction etc. It is recommended that Gurit is contacted for further advice before utilising any of the suggested cure cycles.

Please contact Gurit for advice on post-cure schedule to achieve appropriate body panel Tg.

	Standard Temperature Cure	High Temperature Standard Cure
	2°C/minute ramp rate to 120°C	2°C/minute ramp to 130°C
	1 hour @ 120°C	30 minutes at 130°C
Total Time	1 hour 50 minutes	1 hour 25 minutes

NB. It is strongly recommended that laminate temperatures are monitored throughout the cure.



Properties

Mechanical Properties								
	SF 95 balanced CBS (RC2/0.7/RE4)	RC2/0.7/RE4	SF 95 RC2/0.7/RC2	RC2/0.7/RC2	SF 95 RC3/1/RC3	RC3/1/RC3	SF 95 W5/1/W5	W5/1/W5
Thickness (mm)	1.75	1.3	1.65	1.2	2.2	1.75	2.4	2
Weight (gsm)	2190	1480	1930	1140	2450	1660	3040	2250
Temperature Performance (°C)	<120	<120	<120	<120	<120	<120	<120	<120
Skin 1 Construction	SF95 + 198gsm HS-3k 2x2 twill woven carbon	198gsm HS-3k 2x2 twill woven carbon	SF95 + 198gsm HS-3k 2x2 twill woven carbon	198gsm HS-3k 2x2 twill woven carbon	SF95 + 300gsm HS-6k 2x2 twill woven carbon	300gsm HS-6k 2x2 twill woven carbon	SF95 + 580gsm 2x2 twill woven E glass	580gsm 2x2 twill woven E glass
Skin 2 Construction	390gsm 2x2 twill woven E glass	390gsm 2x2 twill woven E glass	198gsm HS-3k 2x2 twill woven carbon	198gsm HS-3k 2x2 twill woven carbon	300gsm HS-6k 2x2 twill woven carbon	300gsm HS-6k 2x2 twill woven carbon	580gsm 2x2 twill woven E glass	580gsm 2x2 twill woven E glass
Poisson ratio $V_{xy}=V_{yx}$	0.078	0.074	0.075	0.037	0.051	0.037	0.114	0.089
Long/transv modulus (GPa)	13.1	15.4	17.9	22.1	19.6	23.0	9.0	9.7
Long/transv flexural modulus (GPa)	13.0	24.9	21.2	42.4	25.7	43.7	12.3	16.9
Shear modulus (GPa)	1.54	1.54	1.5	1.44	1.5	1.5	1.6	1.7
Equivalent steel thickness / weight saving*	0.7mm / 58%	0.65mm / 71%	0.8mm / 70%	0.7mm / 80%	1.1mm / 72%	1mm / 80%	1mm / 55%	0.9mm / 61%
Equivalent aluminium thickness / weight saving*	1mm / 17%	0.9mm / 42%	1.1mm / 38%	1mm / 60%	1.6mm / 44%	1.5mm / 60%	1.45mm / 10%	1.3mm / 22%

* Same flexural stiffness

Health and Safety

Although SPRINT® materials have improved health and safety characteristics when compared to wet lay-up epoxy systems and conventional prepreps, the following points must still be considered:-

1. Avoid skin contact - wear disposable nitrile gloves.
2. Avoid eye contact. If this occurs, flush with water for 15 minutes and seek medical advice.
3. Ensure good ventilation of vacuum pump exhaust during laminate cure.
4. Avoid inhalation and eye contact with sanding dust. After any sanding operation of reasonable size a shower or bath should be taken and should include hair washing.
5. Wear overalls or other protective clothing. Thoroughly clean or discard soiled garments.
6. Use only resin removing creams/soap and water on exposed skin. Do not use solvents.

This cleaning should be routine:

- before eating or drinking
- before using the lavatory
- before smoking
- after finishing work

In the pre-cured state SPRINT® materials contain 'dry' fibres which can be released when the material is being cut or processed. Care should be taken while handling the material to prevent contact with the skin and to control the egress of fibres into the workplace. Products that contain carbon fibres should be treated with particular care as carbon fibre is electrically conductive. Electrical equipment should be protected from carbon dust and fibres.

Gurit produces a separate full Materials Safety Data Sheet for this product covering usage, transport, storage and emergencies. Please ensure that you have the correct MSDS's to hand for the materials you are using before commencing work.

Applicable Risk & Safety Phrases

R 36/38, 40, 43, 51/53
S 26, 28, 36/37/39, 57

Storage Conditions & Outlife

Storage time and temperature will have an affect on resin reactivity and fibre impregnation. The product can be stored for two years at -18°C or for 2 weeks at ambient temperature (18-22°C) without affecting resin reactivity. However, at ambient temperature the material will begin to self-impregnate much sooner than this, depending on size and tension of the roll, resin content and fabric style. We recommend therefore, that rolls of SPRINT® are stored frozen at -18°C and only brought to room temperature when pieces of material are required for use. Having cut the necessary pieces, we recommend that they are stored flat until use. Minimising the out time of the SPRINT® at room temperature will reduce the resin migration and preserve the handling properties. When not being used SPRINT® should be stored in the freezer at all times.

The self-impregnation of the SPRINT® can compromise its ability to generate high quality laminates as the air breathing properties decrease after a certain length of time at ambient temperature. Self-impregnation will increase the tack and reduce the drape of the material. While self-impregnation will vary from product to product, most Single Sided SPRINT® materials stored at ambient temperatures will self-impregnate within approximately 2 weeks. Contact Gurit Technical Services for further advice.

Rolls of SPRINT® should be removed from freezer storage in sufficient time to allow them to warm up to ambient temperature before they are used. For most rolls an overnight defrost will suffice, however large rolls may take longer. Rolls of SPRINT® should always be supported horizontally by their cardboard tube, as laying the rolls on the floor or bench may result in lines of partially wet-out material at the areas of high pressure under the roll. Material should not be allowed to remain for long periods at ambient temperature before application, as this will compromise the handling properties.



Transport & Storage

When not in use SPRINT® CBS products should be maintained at -18°C. Shelf life for SPRINT® CBS is two years at -18°C and two weeks at 18-22°C. To avoid condensation on the rolls allow to reach room temperature before unwrapping.

Notice

All advice, instruction or recommendation is given in good faith but Gurit AG (the company) only warrants that advice in writing is given with reasonable skill and care. No further duty or responsibility is accepted by the Company. All advice is given subject to the terms and conditions of sale (the Conditions) which are available on request from the Company or may be viewed at the Company's Website: www.gurit.com/termsandconditions_en.html.

The Company strongly recommends that Customers make test panels and conduct appropriate testing of any goods or materials supplied by the Company to ensure that they are suitable for the Customer's planned application. Such testing should include testing under conditions as close as possible to those to which the final component may be subjected. The Company specifically excludes any warranty of fitness for purpose of the goods other than as set out in writing by the Company. The Company reserves the right to change specifications and prices without notice and Customers should satisfy themselves that information relied on by the Customer is that which is currently published by the Company on its website. Any queries may be addressed to the Technical Services Department.

Gurit are continuously reviewing and updating literature. Please ensure that you have the current version, by contacting Gurit Marketing Communications or your sales contact and quoting the revision number in the bottom right-hand corner of this page.

Gurit (UK) Ltd

St Cross Business Park
Newport, Isle of Wight
United Kingdom PO30 5WU

T +44 (0) 1983 828 000

F +44 (0) 1983 828 100

E automotive@gurit.com

W www.gurit.com

